

Zur Anwendung mathematischer Programmierungsverfahren auf die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Informationsvorgänge

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaft
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität in Gießen

vorgelegt von

Henning Krug

aus

Krähenwinkel/Hannover

1969



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545931_0030

Zur Anwendung mathematischer Programmierungsverfahren auf die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Informationsvorgänge

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Wirtschaftswissenschaft
der Rechts- und Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität in Gießen

vorgelegt von

Henning Krug

aus

Krähenwinkel/Hannover

1969



Erstgutachter: Professor Dr. R. Buchner
Zweitgutachter: Professor Dr. K. Bleicher
Tag der mündlichen Prüfung: 21. Mai 1969

ZUR ANWENDUNG MATHEMATISCHER PROGRAMMIERUNGS-
VERFAHREN AUF DIE BESTIMMUNG WIRTSCHAFTLICH
OPTIMALER INFORMATIONSVORGÄNGE

Inhaltsverzeichnis

Einleitender Teil:

	Seite
Ziel und Gegenstand der Untersuchung	
A. Die Behandlung informatorischer Fragestellungen in der Organisationslehre	1
B. Die grundlegenden Begriffe der Untersuchung - Information und Kommunikation	8
C. Problemstellung und Gang der Untersuchung	13

1. Hauptteil:

Die Analyse einstufiger Kommunikationssysteme

A. Die Ableitung eines dynamischen Programmierungsansatzes zur Bestimmung der kostenminimalen Zuordnung von Sendern und Empfängern	18
I. Die Grundkonzeption der dynamischen Programmierung	18
II. Die Entwicklung eines Grundmodelles zur Bestimmung der kostenminimalen Informationsübertragung	29
a. Die Erläuterung der Einflußfaktoren	29
b. Das Grundmodell	36
c. Exemplifizierung des Grundmodelles	43
III. Erweiterungen des Grundmodelles	
a. Die Berücksichtigung von Überschuß- und Fehlmengen	52
b. Die Beachtung unterschiedlicher Informationsarten in dem Grundmodell	54
c. Die Kommunikationsmittel und -formen als Einflußgrößen der Informationsübertragung und ihre Aufnahme in das Grundmodell	58

B. Die Bedeutung des Modelles für die Beurteilung organisatorischer Maßnahmen bei Informationsvorgängen	
I. Vergleich von linearer und dynamischer Programmierung im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit bei ökonomischen Informationsproblemen	
a. Die kritische Untersuchung der Optimierung von Informationsvorgängen mit der linearen Programmierung	60
b. Die Leistungsfähigkeit von linearer und dynamischer Programmierung bei der Ermittlung einer wirtschaftlich optimalen Informationsversorgung	73
II. Möglichkeiten und Grenzen der Beurteilung organisatorischer Gestaltungsmaßnahmen	
a. Die Beeinflussung der Kommunikationsstruktur als Bedingung der Informationsübertragung	78
b. Zentralisation oder Dezentralisation von Informationsaufgaben - ein Versuch zur Bestimmung des optimalen Dezentralisationsgrades	81

2. Hauptteil:

Die Analyse mehrstufiger Kommunikationssysteme

A. Einführende Kennzeichnung mehrstufiger Kommunikationsnetze	92
---	----

B.	Darstellung und kritische Untersuchung der Anwendbarkeit von Verfahren zur Lösung des Transshipment-Problems auf Informationsprozesse	95
C.	Dynamische Programmierungsansätze zur Bestimmung der zeitminimalen Informationsübertragung von einem Sender an einen Empfänger bei begrenzt variablen Informationswegen	104
I.	Die Ermittlung der optimalen Durchlaufzeit in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz	106
II.	Die Berücksichtigung zufallsabhängiger Übertragungszeiten bei der Ermittlung der minimalen Durchlaufzeit	113
III.	Die Aussagefähigkeit der Modellergebnisse für die Strukturierung von Kommunikationsnetzen und Informationsprozessen	120
D.	Die Berücksichtigung von Informationsmitteln und -formen als Entscheidungsvariable bei der Bestimmung des zeitminimalen Informationsprozesses in einem mehrstufigen Modell mit unterschiedlichen Möglichkeiten des Informationsaustausches	
I.	Die Formulierung eines dynamischen Programmierungsansatzes zur Lösung des Problems bei richtungsgebundenen Informationswegen und einseitigem Informationsaustausch	126
II.	Die Entwicklung eines dynamischen Programmierungsansatzes für ein Modell mit beliebiger Informationsflußrichtung und zweiseitigem Informationsaustausch	130

E.	Die simultane Optimierung von Informationswegen, Informationsmitteln und -formen in einem mehrstufigen Mehrpersonen-Modell bei begrenzt variabler Verteilung der Sende- und Empfangsfunktionen	
I.	Die Entwicklung des Modelles zur Bestimmung der kostenminimalen Informationsversorgung	135
II.	Die Berechnung der optimalen Lösung mit der dynamischen Programmierung	142
F.	Möglichkeiten und Grenzen der Effizienzbeurteilung bei der Organisation der Informationsübertragung	
I.	Die Beurteilung organisatorischer Gestaltungsmaßnahmen zur Strukturierung von Informationswegen	153
II.	Die kritische Untersuchung der organisatorischen Aussagen über die Struktur optimaler Informationswege	155
	<u>Schlußbemerkungen</u>	161
	Literaturverzeichnis	165
	Zeitschriften-Abkürzungsverzeichnis	179

Einleitender Teil:

ZIEL UND GEGENSTAND DER UNTERSUCHUNG

A. Die Behandlung informatorischer Fragestellungen in der Organisationslehre

Eine Betrachtung der neueren, betriebswirtschaftlich-organisatorischen Literatur zeigt, daß den Fragen der betrieblichen Informationen und Informationsprozessen zunehmend Beachtung geschenkt wird. Im Zusammenhang mit der Organisation steht ihre wissenschaftliche Behandlung jedoch noch am Anfang, da lange Zeit den organisatorischen Regelungen des betrieblichen Weisungs-, Kompetenz- und Verantwortungssystems das Hauptinteresse galt. So wurde auch die Auffassung vertreten, daß durch das System der Anordnungsbeziehungen gleichzeitig die innerbetrieblichen Informationsprozesse bestimmt sind ¹⁾. Für die Abkehr von dieser Ansicht lassen sich verschiedene Ursachen finden, die ebenso die nunmehr einsetzende intensive Beschäftigung mit Informationsproblemen begründen.

(1) Solange die ökonomischen Untersuchungen von der Prämisse vollkommener Voraussicht ausgingen, wurden sämtliche Probleme der Informationsbeschaffung, -speicherung und Informationsverarbeitung ausgeklammert. Erst durch die Berücksichtigung unvollkommener oder unvollständiger Informationen wurde die Bedeutung der Informationen für die unternehmeri-

1) Vgl. Schmalenbach, Eugen: Über Dienststellengliederung im Großbetrieb, Köln und Opladen 1959, S. 55-56; Barnard, Chester: The Function of the Executive, Cambridge, Mass., 1958, S. 175.

ischen Entscheidungen offensichtlich. Eine rationale Entscheidung, gekennzeichnet als Auswahl aus den verfügbaren Alternativen, ist nur auf der Grundlage ausreichender Information denkbar. Daher wird der Informationsprozeß auch als eine Vorstufe des Entscheidungsprozesses angesehen.¹⁾

(2) Vor allem tritt die Bedeutung der Informationen dann hervor, wenn die Auffassung, der Betrieb sei eine in sich "widerspruchslose, reibungslos arbeitende Entscheidungseinheit",²⁾ als unzulässige Vereinfachung verworfen wird. Mit der Berücksichtigung verschiedener Entscheidungszentren oder sogar beliebiger Entscheidungsträger auf allen Stufen der betrieblichen Hierarchie³⁾ treten die Probleme der

1) Vgl. zu dem Zusammenhang von Informations- und Entscheidungsprozeß: Hax, Karl: Planung und Organisation als Instrumente der Unternehmensführung. In: ZfHf, NF, 11. Jg. (1959), S. 688; Albach, Horst: Entscheidungsprozeß und Informationsfluß in der Unternehmensorganisation. In: Organisation, Tfb-Handbuchreihe, 1. Bd., (Hersg: Schnauffer, Erich und Klaus Agthe), Berlin-Baden-Baden 1961, S. 360-364; Heinen, Edmund: Das Zielsystem der Unternehmung, Wiesbaden (1966), S. 24-26; Coenenberg, Adolf G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, Wiesbaden (1966), S. 13-14; Kramer, Rolf: Information und Kommunikation. Betriebswirtschaftliche Bedeutung und Einordnung in die Organisation der Unternehmung, Berlin (1965), S. 42-46;

2) Busse von Colbe, Walther: Entwicklungstendenzen in der Theorie der Unternehmung. In: ZfB, 34. Jg. (1964), S. 620.

3) Vgl. Hax, Herbert: Die Koordination von Entscheidungen. Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Organisationslehre, Köln-Berlin-Bonn-München 1965, S. 10-11; Heinen, Edmund: Das Zielsystem der Unternehmung, a.a.O., S. 26; Cyert, R.M. und J.G. March: A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs, N.J., 1963, S. 16-19; Koontz, Harold und Cyrill O'Donnell: Management: A Book of Readings, New York-Toronto-London 1959, S.35; Albers, Henry H.: Principles of Organization and Management, 2. Aufl., New York 1965, S. 453-465; Kosiol, Erich: Organisation der Unternehmung, Wiesbaden (1962), S. 104.

innerbetrieblichen Informationsübertragung in den Vordergrund.

Die Verwirklichung des Unternehmensziels hängt von den Entscheidungen aller an dem Entscheidungsprozeß beteiligten Organisationsmitglieder ab. Jeder Entscheidungsträger ist mit den für eine zielkonforme Entscheidung notwendigen Informationen zu versorgen. Da die Ergebnisse einer Entscheidung nicht allein durch die eigenen Aktionen, sondern auch durch die Teilentscheidungen aller weiteren beteiligten Organisationseinheiten bestimmt werden, zählen zu dem erforderlichen Informationsbedarf ebenfalls die Informationen über die Entscheidungen der anderen Aufgabenträger und ihre Auswirkungen.

(3) Das Problem der Koordination resultiert aus der Interdependenz der Teilentscheidungen, die weiterhin dadurch erschwert wird, daß die individuellen Ziele der an der Entscheidung beteiligten Stellen nicht mit dem Unternehmensziel übereinstimmen.¹⁾ Aufgrund unterschiedlicher Motivationen und Bedürfnisse können Zielkonflikte und Kollisionen zwischen den individuellen Zielen und dem Unternehmensziel bestehen. In der Konzipierung eines Betriebes als

Fortsetzung der Fußnote 3) von S.2, Kloidt, Heinrich, Dubberke, Hans-Achim - Göldner, Jürgen: Zur Problematik des Entscheidungsprozesses. In: Organisation des Entscheidungsprozesses (hersch. von Erich Kosiol), Berlin 1959, S. 11; Frese, Erich: Kontrolle und Unternehmensführung. Entscheidung- und organisationstheoretische Grundfragen, Wiesbaden (1968), S. 38-48.

1) Vgl. Albach, Horst: Zur Theorie der Unternehmensorganisation. In: ZfhF, NF., 11. Jg. (1959), S. 241.

Zweckgemeinschaft kommt zum Ausdruck, daß ein Entscheidungskollektiv kein Team mit gleichgerichteten Interessen und Zielen darstellt.¹⁾ Berücksichtigt man ein bedürfnismotiviertes Verhalten der einzelnen Organisationseinheiten und lehnt somit die Auffassung eines mechanisch-deterministischen Verhaltens²⁾ ab, dann wird eine weitere Ursache eines vermehrten Informationsbedarfes deutlich. Eine quantitative und qualitative Änderung der Informationsnachfrage folgt also nicht allein aus der bei mehreren Entscheidungsträgern zu beachtenden Arbeitsteilung und Spezialisierung.³⁾ Vor allem ergeben sich diese Änderungen aus dem Einfluß des Verhaltens der einzelnen Organisationseinheiten auf die Ergebnisse der Handlungsalternativen selbst und der Interdependenz der Teilentscheidungen. Es sind neue und zusätzliche Informationen für die Koordination und Kontrolle der einzelnen Entscheidungen notwendig.

-
- 1) Zu der Unterscheidung von Team, Gruppe und Koalition vgl. Marschak, Jacob: Towards an Economic Theory of Organization and Information. In: Decision Processes (herg. von Thrall, R.M., C.H. Coombs und R.L. Davis), New York-London 1954, S. 187-220, vor allem S. 188-189.
 - 2) Vgl. Haire, Mason: Philosophy of Organization. In: Management, Organization and Planning (herg. von Bowen, Donald M. und Francis M. Fillierup), New York-San Francisco-Toronto-London (1963), S. 10-16; March, James G. und Herbert A. Simon: Organizations, 2. Aufl., New York-London 1959, S. 136.
 - 3) Vgl. Pastoors, Horst: Die Informationswirtschaft industrieller Unternehmungen, Diss. Köln 1965, S. 131; Pietsch, Jürgen: Die Information in der industriellen Fertigung, Grundzüge einer Organisationstheorie für elektronische Datenverarbeitung. Köln und Opladen 1964, S. 46.

Nachdem die Annahme eines einheitlichen Entscheidungszentrums durch die realistischere Auffassung von einem Betrieb als einem multipersonalen arbeitsteilig organisierten System mit Entscheidungsträgern auf allen Ebenen der betrieblichen Hierarchie ersetzt war, mußte eine Neuorientierung der Organisationstheorie zwangsläufig folgen. Im Mittelpunkt steht nicht mehr nur die Realisation einer Entscheidung, sondern vielmehr die Frage, wie sieht eine Organisation aus, die es gestattet, eine bestimmte Entscheidung zu treffen und auszuführen, mit der ein bestimmter Unternehmenszweck verwirklicht werden soll. Daraus folgt die strenge Bindung der Organisationstheorie an den Entscheidungsprozeß¹⁾. Die Organisation des Entscheidungsprozesses hat sicherzustellen, daß die von den operativen Einheiten getroffenen taktischen Entscheidungen mit den strategischen Entscheidungen vereinbar sind²⁾. Eine Konsistenz der Teilentscheidungen mit dem Unternehmensziel ist nur unter der Voraussetzung zu erreichen, daß eine ausreichende Interpretation³⁾ des Unternehmenszieles für jeden Entscheidungsträger vorgenommen wird.

Aus der Abhängigkeit von Entscheidungsprozeß und Informationsprozeß sowie der Neuorientierung des Untersuchungsobjektes in der Organisationstheorie ergibt sich zwangsläufig die Forderung nach einer intensiven Beschäftigung mit den Informationsproblemen. Während aus dem Zusammenhang von Entscheidung und Information zunächst die Probleme der In-

-
- 1) Vgl. Simon, Herbert A.: Administrative Behavior. A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations, 2. Aufl., New York 1958, S. 38.
 - 2) Vgl. Starr, Martin Kenneth: Production Management Systems and Synthesis, Englewood Cliffs N.J. (1965), S. 68-76.
 - 3) Vgl. Grössle, Karl-Heinz: Der Mensch in der industriellen Fertigung, Wiesbaden (1957), S. 130; Homans, G.: The Human Group, New York 1950, S. 82.

formationsgewinnung und -verarbeitung sichtbar werden, folgt aus der Aufspaltung des Entscheidungsprozesses in Teilprozesse und deren Koordination im Hinblick auf das übergeordnete Unternehmensziel die Notwendigkeit der Informationsübermittlung, um die Voraussetzungen für die zielkonformen Teilentscheidungen zu schaffen. Diese Probleme tauchen aber nicht nur bei dem Entscheidungsprozeß selbst, sondern ebenso bei der Realisation der Entscheidung auf. Die Übermittlung derjenigen Informationen, die für die Kennzeichnung der für die Entscheidungsausführung notwendigen Arbeitsaufgaben erforderlich sind, muß an die einzelnen Operationseinheiten erfolgen. Informationen als Grundlagen der Entscheidung und der Arbeitsausführung sowie Mittel zur Koordination¹⁾ dezentraler Entscheidungen sind von wesentlicher Bedeutung für die Organisationstheorie.

Die organisatorische Gestaltung von Informationssystemen und -prozessen hat gegenüber der wirtschaftlichen Betrachtungsweise bis jetzt in den wissenschaftlichen Beiträgen zu Informationsfragen eine dominierende Rolle eingenommen. Diese Vorrangstellung organisatorischer Fragen muß jedoch angezweifelt werden, da zur Informationsgewinnung und Übertragung knappe Ressourcen eingesetzt werden. Kapital ist bereitzustellen und einzusetzen, um

1) Die Bedeutung innerbetrieblicher Informationen für die Koordination wird besonders betont von Simon, Herbert A.: Administrative Organizations ..., a.a.O., S. 154; Papandreu, A.G.: Some Basic Problems in the Theory of the Firm. In: A Survey of Contemporary Economics, Vol. 2 (Hersg.: B. Haley), Homewood, Ill., 1952, S.213; Cherry, Collin: On Human Communication. A Review, a Survey and a Criticism, New York-London 1957, S. 4.

eine dem Informationsbedürfnis der Entscheidungsträger entsprechende Informationsversorgung zu gewährleisten. Der hierfür erforderliche Kapitaleinsatz zeigt eine steigende Tendenz; schon jetzt sind nach amerikanischen Schätzungen 30 Prozent aller in der Industrie Tätigen mit Informationsaufgaben beschäftigt.¹⁾ In der folgenden Untersuchung werden ökonomische Probleme der Informationsübertragung daher in den Vordergrund gestellt.

Zu einer intensiven Beschäftigung mit den ökonomischen Problemen der Kommunikation fordern vor allem die neuen Ansätze zu einer allgemeinen Theorie der Unternehmung heraus. In diesen Beiträgen wird der Versuch unternommen, den Einfluß unterschiedlicher Organisations- und Kommunikationsstrukturen zu berücksichtigen.²⁾ Diese Strukturen sind aber erst dann vergleichbar, wenn die optimale Übertragung in den einzelnen Kommunikationsstrukturen ermittelt werden kann. Darum sind zunächst die einzelnen Einflußgrößen der Informationskosten und dann die kostenminimalen Informationsprozesse zu bestimmen.

-
- 1) Vgl. Mc Donough, A.M.: Information Economics and Management Systems, New York 1963, S. 5; Bierfelder, Wilhelm H.: Optimales Informationsverhalten im Entscheidungsprozeß, Berlin (1968), S. 41-44.
 - 2) Vgl. Marschak, J.: Elements for a Theory of Teams. In: MS, Vol. 1 (1954), S. 127-147; derselbe: Efficient and Viable Organizational Forms. In: Modern Organization Theory. A Symposium of the Foundation for Research on Human Behavior (Hersg.: Mason Haire), New York-London-Sydney (1965), S. 307-320; Radner, Roy: The Application of Linear Programming to Team Decision Problems. In: MS, Vol. 5 (1958/59), S. 143-156; Hax, Herbert: Die Koordination von Entscheidungen ... , a.a.O., S. 20-50; Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, Berlin-Heidelberg-New York 1967, S. 109-135.

3. Die grundlegenden Begriffe der Untersuchung - Information und Kommunikation

Eine ökonomische Untersuchung von Kommunikationsproblemen setzt eine genaue Erklärung und Abgrenzung des Sachverhaltes voraus, der unter dem Begriff Kommunikation zusammengefaßt wird. In der Psychologie, Soziologie, der Nachrichtentechnik und der Organisationslehre werden in Abhängigkeit von dem Untersuchungsziel unter Kommunikation verschiedenartige Tatbestände verstanden. Infolgedessen werden von den Wissenschaftsdisziplinen jeweils nur spezifische Problemkreise erörtert.

Sofern eine Trennung von Information und Kommunikation vorgenommen werden kann, besteht Übereinstimmung darin, daß Informationen die Objekte der Kommunikation sind, deren Aufgabe in der Übermittlung von Informationen von dem Informationssender zu dem(n) Empfänger(n) besteht. Diese Ansicht von der Kommunikation als Prozeß der Informationsübermittlung wird stark von der technischen Nachrichtentheorie beeinflusst, ebenso wie die Phaseneinteilung in: Informationsabgabe - Übertragung - Informationsaufnahme.

Ob eine derartige Übertragung der technischen Nachrichtenübermittlung für eine ökonomische Deutung des Kommunikationsprozesses sinnvoll ist, insbesondere wenn durch die Kommunikation die Verbindung ¹⁾ zwischen den Organisationsmitgliedern hergestellt wird,

1) Vgl. Pfiffner, John M. und Frank P. Sherwood: Administrative Organization, New York 1960, S. 295; Kosiol, Erich: Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 178; Wiener, Norbert: Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine, 2. Aufl., New York 1961, S. 18; Pigors, P.: Effective Communication in Industry, New York 1959, S. 2; Leavitt, Harold J.: Managerial Psychology, 2. Aufl., London-Chicago 1964 S. 164; Merrihue, Willard Y.: Managing by Communication, New-York-Toronto-London 1960, S. 15-16.

soll an einer ausführlichen Darstellung des menschlichen Nachrichtenumsatzes untersucht werden. Diese Informationsverarbeitung beginnt mit der Reizaufnahme der Rezeptoren. Von einer Wahrnehmung, Perzeption, kann erst dann gesprochen werden, wenn die von den Sinnesorganen aufgenommenen Eindrücke an die Zentren übertragen werden. In den Wahrnehmungsfeldern der Gehirnrindenschicht erfolgt die bewußte Empfindung der Sinneseindrücke, die allerdings noch nicht erkannt und verstanden werden. Mit der Apperzeption, d.h. der aktiven Aufnahme eines Bruchteils der von den Sinnesorganen aufgenommenen Eindrücke in das Bewußtsein, endet der Prozeß der Wahrnehmung. Daran schließt sich das Erkennen und Verstehen der wahrgenommenen Zeichen, Signale¹⁾ oder Impulse an, indem offenbar Erinnerungsbilder früherer Eindrücke in das Bewußtsein zurückgeführt und mit den neuen Sinneseindrücken verglichen werden. Der Prozeß des Erkennens der Bedeutung aufgenommener Signale besteht also in der Zuordnung von Sachverhalten zu diesen Zeichen. Erst mit der Zuordnung bestimmter Sachverhalte werden Signalfolgen zu Nachrichten²⁾. Eine Verständigung zwischen zwei

-
- 1) Signale, Zeichen oder Symbole sind Buchstaben, Ziffern, Laute oder allgemein wahrnehmbare Elemente der Erscheinungswelt, die als Nachrichtenträger dienen. Vgl. Steinbuch, Karl: Automat und Mensch. Über menschliche und maschinelle Intelligenz, Berlin-Heidelberg-Göttingen 1961, S. 22; Zemanek, Heinz: Informationstheorie. In: UFO, 1. Bd. (1956), S. 31.
 - 2) Zu der Unterscheidung Signal, Zeichen und Symbol von der Nachricht vgl. Albach, Horst: Entscheidungsprozeß und Informationsfluß in der Unternehmensorganisation, a.a.O., S. 149-164; Zemanek, Heinz: Elementare Informationstheorie, Wien-München 1959, S. 10-11; Kramer, Rolf: Information und Kommunikation. Betriebswirtschaftliche Bedeutung und Einordnung in die Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 19-21.

Organisationseinheiten ist daher nur möglich, wenn beide mit den gleichen Zeichen und Signalen synonyme Denkinhalte verbinden. Nur dann ist eine richtige Interpretation der empfangenen Signale denkbar. Bei dem willkürlichen Teil der Reaktion trennt man analog zu der Unterscheidung in Perzeption und Apperzeption in Realisation und Signalisation, d.h. die Übertragung der Impulse an die Muskulatur.¹⁾

Während die mathematische Informationstheorie und die darauf aufbauende Nachrichtenübermittlung vorwiegend auf die quantitative Ausprägung der Zeichen, Signale oder Symbole abstellt, sind für ökonomische Informationsprobleme zusätzlich die Kommunikationspartner, die Interpretation der Signale und die Reaktion der Informationsempfänger zu berücksichtigen.

Die Kennzeichnung der Kommunikation als betrieblichen Informationsfluß²⁾ oder die Informationsweitergabe³⁾ schränkt diese auf den Informationstransport ein. In dieser engen Fassung der Kommunika-

-
- 1) Vgl. Frank, Helmar: Die Grundlagen der kybernetischen Pädagogik. In: IBM-Nachrichten, o.O., 16. Jg. (1966), Heft Nr. 176, S. 2-9; derselbe: Informationspsychologie. In: Kybernetik, Brücke zwischen den Wissenschaften (Hersg.: H. Frank), Frankfurt a.M., 6. Aufl., 1966, S. 259-271; insbes. S. 269.
 - 2) Vgl. Albach, Horst: Entscheidungsprozeß und Informationsfluß in der Unternehmensorganisation, a.a.O., S. 377; Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 54; Rubenstein, Albert H.: Measuring Communication in Industrial Research. In: Some Theories of Organization (Hersg.: Rubenstein, Albert H. und Chadwich J. Haberstroh), Homewood, Ill., 1960, S. 312; Bonini, Ch. P.: Simulation of Information and Decision Systems of the Firm, Englewood Cliffs, N.J., 1963, S. 16.
 - 3) Vgl. Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 54.

tion werden jedoch nicht alle ökonomisch relevanten Einflußgrößen berücksichtigt. Die Beschränkung auf den Informationstransport schließt lediglich die Kommunikationsverbindungen, nicht jedoch die erforderlichen Tätigkeiten der Kommunikationspartner ein. Daher endet die Übertragung von Informationen, d.h. zweckorientiertem Wissen¹⁾ oder der Entscheidungsprämissen²⁾, erst mit dem Erkennen bei dem Informationsempfänger. Folglich sind auch die Wahrnehmung und das Erkennen der Nachricht, sowie die Verarbeitung und Vorbereitung der Reaktion mit aufzunehmen. Noch deutlicher wird die notwendige Einbeziehung gerade der Phasen des Erkennens und der Reaktion aus den Definitionen der Kommunikation, die auf ihren generellen Zweck abstellen, wobei die Kommunikation als die Summe der Handlungen bezeichnet wird, durch die ein Mensch auf einen anderen einwirken kann³⁾.

Unter gleichzeitiger Berücksichtigung des Senders und Empfängers kann die zeitliche Ausdehnung der Kommunikation wie folgt beschrieben werden: "Com-

-
- 1) Vgl. Wittmann, Waldemar: Die Unternehmung und unvollkommene Information. Unternehmerische Voraussicht - Ungewißheit und Planung. Köln, Op-laden 1959, S. 14.
 - 2) Vgl. Simon, H.A.: Administrative Behavior. A Study of Decision-Making. Processes in Administrative Organization, a.a.O., S. 154.
 - 3) Vgl. Cherry, Collin: On human Communication. A Review, a Survey, and a Criticism, a.a.O., S. 219; Ackoff, Russell L.: Towards a Behavioral Theory of Communication. In: MS, Bd. 4 (1958), S. 218-234, insbes. S. 224; Stevens, S.S.: Introduction: A Definition of Communication. In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 22 (1950), S. 689; Albers, Henry H.: Organization Principles and Management, 2. Aufl., New York-London-Sydney 1965, S. 71.

munications begins with the originator's thinking and ends with the reciever's thinking".¹⁾ Also zählen in einer derartig weiten Begriffsdeutung sowohl die Informationsaufnahme als auch die Verarbeitung neben dem reinen Übermittlungsvorgang zu der Kommunikation.

Die Gegenüberstellung der Definitionen zeigt, daß die Unterschiede darauf zurückgeführt werden können, in welchem Umfang die einzelnen Phasen des Nachrichtenumsatzes berücksichtigt werden. Für eine quantitative ökonomische Analyse sind jedoch diejenigen Definitionen der Kommunikation nicht geeignet, die neben der Informationsübermittlung nur die Informationsabgabe des Senders bzw. die Phasen der Wahrnehmung und des Erkennens bei dem Empfänger²⁾ einschließen, da eine exakte Trennung von der Informationsverarbeitung nicht möglich ist. Um eine umfassende Berücksichtigung der ökonomisch wesentlichen Einflußfaktoren sicherzustellen, werden neben der Informationsabgabe und Übertragung sämtliche Phasen der Informationsverarbeitung bei dem Empfänger berücksichtigt. Damit umfaßt der Begriff Kommunikation nicht nur die Informationsverbindungen, sondern auch die Kommunikationspartner. Die Gesamtheit der Informationsstellen und Informationsverbindungen bildet das betriebliche Kommunikationssystem, das der folgenden Untersuchung zugrunde gelegt wird.

1) Thayer, Lee O.: Administrative Communication, Homewood, Ill., 1961, S. 13; ähnlich auch Meyer-Eppler, W.: Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959, S. 250; und Strasser, Helge: Zielbildung und Steuerung der Unternehmung, Wiesbaden (1966), S. 87.

2) Vgl. Coenenberg, Alfred G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 36.

C. Problemstellung und Gang der Untersuchung

Den Untersuchungsgegenstand der folgenden ökonomisch-organisatorischen Analyse bilden die betrieblichen Kommunikationssysteme, die der Informationsversorgung aller Handlungsträger eines multipersonalen arbeitsteiligen Systems zugrunde liegen. Das betriebliche Kommunikationssystem bedarf daher einer an den Erfordernissen des Entscheidungsprozesses und der Arbeitsabläufe ausgerichteten Strukturierung. Dabei muß einschränkend festgestellt werden, daß sich organisatorische Gestaltungsmaßnahmen nur auf die formalen Kommunikationsbeziehungen, nicht oder nur in wesentlich geringerem Maße auf informale Kontakte erstrecken können.

Die in der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre übliche Trennung in Aufbau- und Ablauforganisation¹⁾ führt zu zwei unterschiedlichen Aspekten der Betrachtung eines einheitlichen Untersuchungsobjektes. Bei den organisatorischen Maßnahmen zur Gestaltung betrieblicher Kommunikationssysteme ist zu unterscheiden zwischen Strukturierungsmaßnahmen, die sich auf die Schaffung der Kommunikationsstruktur und die Ablauforganisation der Informationsprozesse in diesem Verbindungssystem beziehen.²⁾ Bildet allgemein die Schaffung einer

1) Vgl. Kosiol, Erich: Grundlagen und Methoden der Organisationsforschung, Berlin (1959), S. 18-26; derselbe: Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 80; Nordsieck, Fritz: Rationalisierung der Betriebsorganisation, 2. Aufl., Stuttgart 1955, S. 132.

2) Zur Ablauf- und Aufbauorganisation bei Informationsproblemen vgl. Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 126 und S. 156-158; Wild, Jürgen: Informations- und Kommunikationstheorie als Hilfsmittel zur Organisation der Unternehmung. Int. ZfÜrO, 36. Jg. (1968), S. 266-267.

zweckorientierten und dauerhaften Gebildestruktur den Hauptgegenstand der Aufbauorganisation, so besteht die spezielle aufbauorganisatorische Aufgabe in bezug auf das betriebliche Kommunikationssystem in der Errichtung eines Kommunikationsnetzes, das den Anforderungen des Entscheidungsprozesses und der Informationsnachfrage der Handlungsträger entspricht. Bei einer organisatorischen und ökonomischen Untersuchung des innerbetrieblichen Informationsaustausches stellt sich die Aufgabe, ein betriebliches Kommunikationsnetz zu schaffen, das unter Berücksichtigung des Wirtschaftlichkeitsprinzips eine Informationsversorgung der Aufgaben- und Entscheidungsträger mit allen erforderlichen Informationen zur richtigen Zeit erlaubt. Die art- und mengenmäßige Zusammensetzung der Informationsnachfrage sowie die zeitlichen Bedingungen der Informationsübertragung ergeben sich aus der jeweiligen Entscheidungssituation. Daher kann der Informationsbedarf als bekannt vorausgesetzt oder mit den Verfahren bestimmt werden, die von Ackoff und Sengupta bei nichtlinearen Zielfunktionen und von Radner bei linearen Zielfunktionen entwickelt wurden.¹⁾

Im Gegensatz zu den aufbauorganisatorischen Problemen bei der Gestaltung des Kommunikationssystems steht die Strukturierung des Informationsprozesses im Vordergrund ablauforganisatorischer Maßnahmen; insbesondere ist die zeitliche Folge der einzelnen Kommunikationsvorgänge unter Beachtung der kapazitiven Beschränkungen zu regeln. Während sich

1) Vgl. Sengupta, S.S. und R.L. Ackoff: System Theory from an Operations Research Point of View. In: General Systems, Yearbook of the Society for General Systems Research (herg. von Bertalanffy, L. und A. Rapoport), Bd. 10 (1965), S. 43; Radner, Roy: The Application of Linear Programming to Team Decision Problems, a.a.O., S. 143-156.

demnach die ablauforganisatorischen Regelungen auf die Gestaltung der Informationsprozesse und vor allem die Informationsübertragung richten, zielen die aufbauorganisatorischen Maßnahmen auf die Strukturierung der Informationsverbindungen und die Verteilung der Kommunikationsfunktionen auf die einzelnen Informationsstellen. Eine isolierte Behandlung ist jedoch wegen der Interdependenzen nicht zulässig.

Gegenstand dieser Untersuchung ist die Bestimmung der optimalen - kosten- und zeitminimalen - Informationsübertragungen mit Hilfe quantitativer, mathematischer Verfahren, die in der Unternehmensforschung entwickelt wurden. Am Anfang wird die kostenminimale Zuordnung von Sendern und Empfängern in einem gegebenen einstufigen Kommunikationsnetz mit Hilfe der dynamischen Programmierung und den Transportverfahren, einer Klasse spezieller linearer Programmierungsverfahren, ermittelt. Diese Transportverfahren wurden bisher zur Optimierung von Informationsprozessen verwendet, da eine Übereinstimmung von innerbetrieblichem Güter- und Informationstransport angenommen wurde. Ein kritischer Vergleich der beiden Verfahren soll die Möglichkeiten und Grenzen ihrer Anwendbarkeit bei ökonomischen Informationsproblemen zeigen.

In dem zweiten Teil wird die dynamische Programmierung zur Bestimmung optimaler Informationsprozesse in mehrstufigen Kommunikationsnetzen angewendet, da dieses Verfahren den spezifischen Eigenschaften des betrieblichen Informationsaustausches besser Rechnung trägt und seine Anwendung an weniger strenge Voraussetzungen gebunden ist als die lineare Programmierung. Entsprechend der Forderung,

nur direkte Verbindungen für die Informationsübertragung zu benutzen, werden verschiedene Probleme der Informationsübermittlung in einem einstufigen Kommunikationsnetz untersucht. An einem einfachen Modell wird die Konzeption der dynamischen Programmierung dargestellt, und ein numerisches Beispiel zur Veranschaulichung berechnet. Dieses Grundmodell wird anschließend durch die Berücksichtigung weiterer Einflußgrößen ausgebaut. Indem unterschiedliche Informationsarten (Mehrsortenproblem) und verschiedene Kommunikationsmittel und -formen in die Untersuchung eingeschlossen werden, wird eine Annäherung der theoretischen Modelle an die praktischen Gegebenheiten erreicht. Dieses Kapitel wird mit einer kritischen Würdigung der Aussagefähigkeit der gewonnenen Ergebnisse für organisatorische Gestaltungsmaßnahmen abgeschlossen.

Während bei einstufigen Kommunikationsstrukturen die Probleme als Zuordnungsprobleme aufgefaßt werden können, gewinnen die Fragen der Informationsübertragung und der Reihenfolge der einzelnen Informationsvorgänge in mehrstufigen Kommunikationsnetzen an Bedeutung. Auf eine einführende Kennzeichnung und Herausarbeitung der organisatorisch und vor allem ökonomisch interessanten Einflußgrößen mehrstufiger Kommunikationsnetze folgt eine kritische Analyse der Anwendbarkeit von Transshipmentverfahren. Analog zu der Bestimmung des "kürzesten Weges durch ein Netzwerk" wird die Verteilung der Informationsfunktionen und ihre zeitliche Reihenfolge in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz bestimmt, wenn der Informationsbedarf eines Empfängers in der kürzesten Zeit von einem Sender befriedigt werden soll. Da bei der Kommunikation als interpersonellem Informationsaustausch Informationsverzerrun-

gen oder Störungen nicht ausgeschlossen werden können, sind auch zufallsabhängige Übertragungszeiten zu berücksichtigen. In diesem Fall ist der Informationsprozeß nicht mehr als ein deterministischer, sondern als stochastischer Prozeß zu behandeln.

Anschließend an die simultane Optimierung von Informationsverbindungen, bei denen Informationsübertragungen in unterschiedlichen Richtungen erfolgen können, und Kommunikationsmitteln zwischen einem Sender und Empfänger sowie einem Sender und mehreren Empfängern, wird die Untersuchung auf mehrere Sender und Empfänger ausgedehnt. Im Anschluß an ein numerisches Beispiel werden verschiedene Organisationsgrundsätze überprüft und den Modellergebnissen gegenübergestellt.

1. Hauptteil:

DIE ANALYSE EINSTUFIGER KOMMUNIKATIONSSYSTEME

A. Die Ableitung eines dynamischen Programmierungsansatzes zur Bestimmung der kostenminimalen Zuordnung von Sendern und Empfängern

I. Die Grundkonzeption der dynamischen Programmierung

Die dynamische Programmierung ist ein mathematisches Konzept zur Optimierung mehrstufiger Entscheidungsprozesse. Der Grundgedanke der dynamischen Programmierung besteht darin ¹⁾, die anstehenden komplexen

-
- 1) Zur dynamischen Programmierung vgl. Bellman, Richard: Dynamic Programming, Princeton 1957; derselbe: Some Problems in the Theory of Dynamic Programming. In: Econometrica, Vol. 22 (1954), S. 34-41; derselbe: The Mathematical Theory of Control Processes. In: Modern Mathematics for the Engineer (Hersg.: E.F. Beckenbach), New York - Toronto - London 1961, S. 243-278; derselbe: Combinatorial Processes and Dynamic Programming. In: Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. Vol. X: Combinatorial Analysis (Hersg.: American Mathematical Society), Rhode Island 1960, S. 217-250; Bellman, Richard und Stuart E. Dreyfus: Applied Dynamic Programming, Princeton 1962; Dreyfus, Stuart E.: Dynamic Programming. In: Progress in Operations Research Vol. I (Hersg.: Russell L. Ackoff), London-Sydney-New York (1966), S. 211-242; Bellman, Richard und Robert Kalaba: Dynamic Programming and Modern Control Theory, New York-London 1965, S. 31-55; Hadley, George: Nonlinear and Dynamic Programming, Reading (Mass.)-London - Palo Alto-Sydney 1964, S. 350-375; Howard, Ronald W.: Dynamic Programming. In: MS, Vol. 12 (1966), S. 317-348; Kaufmann A.: Graphs, Dynamic Programming and Finite Games, New York - London 1967, S. 76-146; Kaufmann, A. und R. Cruon: Dynamic Programming, Sequential Scientific Management, New York-London 1967, S. 1-74; Nemhauser, G.L.: Introduction to Dynamic Programming, New York-London-Sydney 1966, S. 1-45; Fersch, F.: Grundzüge des Dynamic Programming. In: UFO, Bd. 3 (1959), S. 70-80; Zschoke, Dieter: Die Behandlung von Entscheidungsproblemen mit Hilfe des dynamischen Programmierens. In: UFO, Bd. 8 (1964), S. 101-127.

Probleme in einzelne Teilprobleme mit nur einer Variablen zu zerlegen. Diese Teilprobleme werden im Lauf der Rechnung sukzessive zusammengefaßt, und die jeweils relativ beste Lösung bestimmt. Sind alle Teilprobleme und damit auch alle Variablen erfaßt, können die optimale Lösung und die Werte der in der optimalen Lösung enthaltenen Variablen rekursiv bestimmt werden.

Da die dynamische Programmierung von mehrstufigen Entscheidungsprozessen ausgeht, ist zunächst auf die einzelnen Bestandteile des Entscheidungsproblems einzugehen. In einem gegebenen Zeitpunkt besteht eine Entscheidung in der Auswahl einer Handlungsalternative aus dem Bereich der zulässigen Aktionsmöglichkeiten. Da mit jeder Handlungsmöglichkeit unterschiedliche Ergebnisse verbunden sein können, setzt eine sinnvolle Entscheidung eine exakte Präferenzordnung bzw. ein Wertsystem des Planenden voraus, das eine vollständige und eindeutige Rangordnung aller denkbaren Ergebnisse als Folge einer Entscheidung erlaubt.¹⁾ Diese Ordnung kann in einer Zielfunktion zum Ausdruck kommen, welche die Abhängigkeit der Zielwerte - also der bewerteten Entscheidungskonsequenzen - von den Handlungsalternativen angibt. Jede Entscheidung besteht somit in einer Auswahl aus dem zulässigen, durch die Nebenbedingungen und die gegebene Entscheidungssituation festgelegten Variationsbereich aller möglichen Entscheidungsvariablen.

Durch die Folge zulässiger Entscheidungen, d.h. Festlegung der einzelnen Entscheidungsvariablen, wird eine Entscheidungspolitik²⁾ bestimmt. Eine im

1) Vgl. Hax, Herbert: Die Koordination von Entscheidungen. Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Organisationslehre. Köln-Berlin-Bonn-München 1965, S. 21-30.

2) Vgl. Bellman, Richard: Dynamic Programming, a.a.O., S. 17.

Hinblick auf das angestrebte Ziel bestmögliche Entscheidungsfolge wird als optimale Politik bezeichnet. Bei der Optimierung mehrstufiger Entscheidungsprozesse sind demzufolge diejenigen Werte der Entscheidungsvariablen zu bestimmen, die eine optimale Politik ergeben.

Während die Entscheidung als solche durch die Menge der verfügbaren Handlungsalternativen, die Ergebnisse und die Zielvorstellung des Entscheidenden beschrieben werden kann, ist für die mathematische Erklärung des Entscheidungsprozesses die Einführung der Begriffe "System" und "Systemzustand" zweckmäßig.

Der Zustand eines Systems wird durch eine endliche Zahl von Zustandsvariablen z_i gekennzeichnet, die in dem Zustandsvektor $\mathbf{z}$ zusammengefaßt werden:

$$(1.1.1) \quad \mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_N) .$$

Können die Auswahlelemente eines Systems bestimmte Zustände annehmen, dann wird ein Zustand dadurch festgelegt, daß die dieses System beschreibenden Elemente die diesem Zustand entsprechenden Werte annehmen. Jeder Zustandsvektor kann nun als ein Punkt in einem N-dimensionalen Zustandsraum dargestellt werden. Oder umgekehrt läßt sich jedem Punkt des Zustandsraumes ein eindeutiger Zustandsvektor und darüber hinaus ein bestimmter Systemzustand zuordnen.

Der Übergang zu einem neuen Zustand erfolgt durch eine der bei einem gegebenen Zustand möglichen Entscheidungen, die durch den Entscheidungsvektor $\mathbf{u}$

$$(1.1.2) \quad \mathcal{U} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

symbolisiert werden kann. Wird nun durch eine Entscheidung eine Zustandsvariable verändert, so entspricht dieser Entscheidung eine Zustandsänderung. Der Übergang zu einem neuen Systemzustand läßt sich als eine Bewegung in einem Zustandsraum deuten. Allgemein kann gesagt werden, daß jeder Entscheidung eine Transformation T entspricht, die gemeinsam mit dem Ausgangszustand und der Entscheidung den nachfolgenden Zustand kennzeichnet.¹⁾

$$(1.1.3) \quad z_k = T(z_{k-1}, \mathcal{U}_k) .$$

Demnach läßt sich der Prozeßablauf sowohl durch eine Folge von Zuständen als auch durch die jeweiligen Entscheidungen bzw. Transformationen kennzeichnen. Die Zustandsfolge legt nun die Bewegung in dem Zustandsraum fest, die durch den Anfangszustand des Systems und die Folge der Transformationen bestimmt wird.

Aus (1.1.3) folgt, daß bei einem mehrstufigen Prozeß für die Fortführung des Prozesses jeweils nur der erreichte Zustand, nicht jedoch wie dieser Zustand erreicht wurde, von Bedeutung ist. " We do not require any knowledge of the past history of the system in order to determine the future." ²⁾ Damit können durch geeignete Transformationen der Variablen ohne Änderung der Modellösung die ursprüngli-

1) Vgl. Zschoke, Dieter: Die Behandlung von Entscheidungsprozessen mit Hilfe des dynamischen Programmierens, a.a.O., S. 105-106; Howard, Ronald W.: Dynamische Programmierung und Markov-Prozesse. Zürich 1965, S. 3; derselbe: Dynamic Programming, a.a.O., S. 317-348; Nemhauser, L.: Introduction to Dynamic Programming, a.a.O., S. 6-28.

2) Bellman, Richard und Robert Kalaba: Dynamic Programming and Modern Control Theory, a.a.O., S. 7.

chen mehrstufigen Probleme in eine Folge nacheinander zu lösender Teilprobleme zerlegt werden. Die Lösung beginnt mit der Bestimmung eines einstufigen, bis über ein zweistufiges Teilproblem schließlich alle Stufen des Entscheidungsproblems eingeschlossen sind.

Das Ziel eines N-stufigen endlichen, deterministischen und diskreten Entscheidungsprozesses besteht in der Maximierung der Funktion

$$(1.1.4) \quad G(z_0; x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{k=1}^N g_k(z_{k-1}, x_k)$$

bei gegebenen Funktionen g_k . Dann ergibt sich aus den obengenannten Überlegungen, daß sich das Maximum der Zielfunktion eines N-stufigen Entscheidungsprozesses aus:

$$(1.1.5) \quad G^* = G_N(z_0) = g_1(z_0, x_1) + \dots + g_N(z_{N-1}, x_N)$$

mit der Transformationsbeziehung:

$$(1.1.6) \quad z_k = T(z_{k-1}, x_k), \text{ für } k=1, 2, \dots, N$$

bestimmen läßt, wobei $g_k(z_{k-1}, x_k)$ den Erfolg der Stufe k und G^* den optimalen Wert kennzeichnen.

Das praktische Vorgehen zur Lösung eines mehrstufigen Entscheidungsproblems benutzt die Möglichkeit, einen mehrstufigen Prozeß in einzelne Teilprozesse zu zerlegen und sukzessive zusammenzufassen. Zur Darstellung gehen wir von folgender Funktion:

$$(1.1.7) \quad F(x_1, x_2, \dots, x_N) = \sum_{i=1}^N g_i(x_i)$$

aus, die zu maximieren ist:

(1.1.8)

$$F(x_1, x_2, \dots, x_N) = \underset{x_1, x_2, \dots, x_N}{\text{Max}} \left[\sum_{i=1}^N g_i(x_i) \right] .$$

Unter Verwendung der Rekursionsbeziehung läßt sich die Bestimmungsgleichung für das bei Anwendung einer optimalen Entscheidungspolitik erzielbare Ergebnis $F_N(x)$ in der folgenden Art formulieren :

(1.1.9)

$$F_N(x_N) = \underset{x_N}{\text{Max}} [g_N(x_N) + f_{N-1}(x_{N-1})] ,$$

wobei

(1.1.10)

$$f_{N-1}(x_{N-1}) = \underset{x_1, x_2, \dots, x_{N-1}}{\text{Max}} \left[\sum_{i=1}^{N-1} g_i(x_i) \right]$$

ist. Wäre die Funktion $f_{N-1}(x_{N-1})$ bekannt, könnte ohne Schwierigkeit durch Einsetzen alternativer Werte für x_N das absolute Maximum des N-stufigen Prozesses bestimmt werden.

Nun steht man aber vor dem Dilemma, daß $f_{N-1}(x_{N-1})$ nicht bekannt ist. Aus dieser Schwierigkeit hilft die Überlegung, daß dieser N-1-stufige Prozeß ebenfalls unter Verwendung der Rekursionsbeziehung zerlegt werden kann. Diese Zerlegung wird solange fortgesetzt, bis schließlich die erste Stufe erreicht ist, für die

(1.1.11)

$$f_1(x_1) = \underset{x_1}{\text{Max}} [g_1(x_1)]$$

gilt.

Anschließend werden die Stufen 1 und 2 zusammengefaßt, und der optimale Wert des zweistufigen Prozesses bzw. der Summe

$$(1.1.12) \quad g_1(x_1) + g_2(x_2)$$

bestimmt.

In der zu maximierenden Funktion

$$(1.1.13) \quad f_2(x_2) = \text{Max} [g_2(x_2) + f_1(x_1)]$$

bezeichnet $f_2(x_2)$ den optimalen Wert, der unter Verwendung einer optimalen Teilpolitik¹⁾ erreicht werden kann. Zur Bestimmung des Maximums gehen wir davon aus, daß ein Wert für x_2 ausgewählt wird, und der zugehörige günstigste Wert von x_1 ermittelt wird.

Wird diese Berechnung für alle möglichen x_2 -Werte durchgeführt und tabelliert, dann kann aus dem Vergleich der errechneten Ergebnisse die optimale Teilpolitik bestimmt werden. Da die zulässige Menge X_1 aller x_1 -Werte durch die Wahl von x_2 beeinflußt wird, kann der Variationsbereich von x_1 formal durch

$$(1.1.14) \quad x_1 \in X_1(x_2)$$

gegeben werden. Diese beiden Stufen werden dann als eine Stufe betrachtet und mit der dritten Stufe kombiniert. Dieses Vorgehen wird solange wiederholt, bis auch die anderen Stufen alle eingeschlossen sind.

1) Unter einer Teilpolitik wird eine Menge von Werten

$x_1, x_i, x_{i+1}, \dots, x_m$ mit $1 \leq i \leq m \leq N$ verstanden. Vgl. Kaufmann, A.: Graphs, Dynamic Programming and Finite Games, a.a.O., S. 331.

Ist die Funktionsfolge $f_1, f_2, \dots, f_{N-1}$ bekannt, dann ergibt sich der gesuchte Wert des mehrstufigen Entscheidungsprozesses aus:

(1.1.15)

$$F_N(x_N) = \max_{x_{N-1} \in X_{N-1}(x_N)} \left[g_N(x_N) + f_{N-1}(x_{N-1}) \right].$$

Dieses Vorgehen wird als rekursive Bestimmung der optimalen Lösung bezeichnet, da die zu optimierende Funktion F_N nicht unmittelbar, sondern nur dann bestimmt werden kann, wenn f_{N-1} und für deren Bestimmung f_{N-2} usw. bekannt sind.

Diese an einem speziellen Beispiel durchgeführten Überlegungen können unter Verwendung der Transformationsbeziehung verallgemeinert werden.

Das optimale Ergebnis eines N-stufigen Entscheidungsprozesses wurde mit $F_N(z_0; x_1, \dots, x_N)$ bezeichnet. Dieser Ausdruck stimmt überein mit:

(1.1.16)

$$F_N(z_0; x_1, x_2, \dots, x_N) = \max_{x_1, x_2, \dots, x_N} G = \max_{x_1} \left[\max_{(x_2, x_3, \dots, x_N)} G \right].$$

In Zusammenhang mit der Bestimmungsgleichung:

(1.1.17)

$$G = \sum_{k=1}^N g_k(z_{k-1}, x_k)$$

folgt¹⁾:

1) Vgl. Bellman, Richard: Dynamic Programming, a.a.O. S. 83-85; derselbe und Stuart E. Dreyfus: Applied Dynamic Programming, a.a.O., S. 15; Bellman, Richard und Robert Kalaba: Dynamic Programming and Modern Control Theory, a.a.O., S. 37.

(1.1.18)

$$F_N(z_0; x_1, x_2, \dots, x_N) = \underset{x_k}{\text{Opt}} [g_1(z_0; x_1) + \dots + g_N(z_{N-1}; x_N)]$$

und weiterhin:

(1.1.19)

$$F_N(z_0; x_1, x_2, \dots, x_N) = \underset{x_1}{\text{Opt}} [g_1(z_0; x_1) + f_{N-1} [T(z_0; x_1)]],$$

da:

(1.1.20)

$$f_{N-1}(z_0; x_2, \dots, x_N) = \underset{x_2, \dots, x_N}{\text{Opt}} G = \underset{x_2, \dots, x_N}{\text{Opt}} \left[\sum_{k=2}^N g_k(z_{k-1}; x_k) \right].$$

Dieses Ergebnis zeigt den Inhalt des Bellman'schen Optimalitätsprinzips: "Eine optimale Politik hat die Eigenschaft, daß unabhängig von dem Ausgangszustand die verbleibenden Entscheidungen optimal bezüglich des durch die erste Entscheidung bedingten Zustandes getroffen werden müssen" 1).

Aus dieser Rekursionsbeziehung kann die Funktionsfolge :

$$F(n(z_{n-1}; x_n)) \quad \text{mit } n=1, 2, \dots, N$$

berechnet werden. Begonnen wird die Berechnung mit $f_1(z_0; x_1)$, $f_2(z_1; x_2)$ usw. Sind alle Stufen erfaßt und der optimale Wert des Entscheidungsprozesses bestimmt, so ist ebenso der Wert der Entscheidungs-

1) Bellman, Richard: Dynamic Programming, a.a.O., S. 17.

variablen x_N festgelegt. Mit Hilfe dieses Wertes kann rekursiv der Wert der Entscheidungsvariablen x_{N-1} usw. ermittelt werden. Die Gesamtheit der diesem optimalen Ergebnis entsprechenden Werte der Entscheidungsvariablen bildet dann die optimale Entscheidungspolitik.

Während bei den Verfahren der linearen Programmierung die Funktionen des mathematischen Modelles linear sein müssen, kann die dynamische Programmierung auch bei nicht linearen und sogar bei diskreten Funktionen Anwendung finden. Die Optimierung von Systemen mit dem Verfahren der dynamischen Programmierung ist jedoch an die folgenden Voraussetzungen gebunden:

- (a) Die Optimierungsaufgabe muß eine Stufengliederung zulassen, wobei auf den einzelnen Stufen Entscheidungen getroffen werden, die den Prozeßablauf beeinflussen. Ein Problem mit n Variablen muß also aufteilbar sein in n Teilprobleme mit je einer Variablen.¹⁾ Diese Voraussetzung wird häufig auch in der Form zum Ausdruck gebracht, daß ein mehrstufiger Entscheidungsprozeß vorliegen muß. Einschränkend ist festzustellen, daß weder alle mehrstufigen Entscheidungsprozesse mit der dynamischen Programmierung gelöst werden können, noch alle dynamischen Programmierungsaufgaben mehrstufige Entscheidungsprobleme darstellen; sie müssen sich lediglich als mehrstufige Probleme interpretieren lassen.²⁾

1) Vgl. Bellman, Richard: Dynamic Programming, a.a.O., S. 81-82; Fersch, F.: Grundzüge des Dynamic Programming, a.a.O., S. 79; Elsner, K.: Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren, Meisenheim / Glan 1964, S. 77.
2) Vgl. Dreyfus, Stuart E.: Dynamic Programming, a.a.O., S. 214.

- (b) Der Prozeß muß auf jeder Stufe durch unterschiedliche Zustände gekennzeichnet sein, die als Folge der vorhergehenden Entscheidung eintreten.
- (c) Jede Entscheidung darf den Prozeßablauf nur in Richtung auf das Prozeßende beeinflussen; d.h. Entscheidungen auf einer Stufe dürfen nicht mehr auf die schon betrachteten Stufen oder deren Zustände einwirken.¹⁾

i) Zu den Voraussetzungen vgl. auch: Karlin, Samuel: The Structure of Dynamic Programming Models. In: Nav. Res. Log. Quart., Vol. 2 (1955), S. 285-294; Bellman, Richard: Adaptive Control Processes. A Guide Tour. Princeton 1961, S. 230; Falkenhausen, Hasso von: Optimallösungen für Entscheidungsfolgen. Ermittlung durch analytische Methoden (dynamic programming) und Simulation. In: IBM-Fachbibliothek Nr. 78105 (1963), S. 3-4; Jacobs, O.L.R.: An Introduction to Dynamic Programming, London 1967, S. 7-17; Simon, Herbert A.: Dynamic Programming under Uncertainty with Quadratic Criterion Function. In: Econometrica, Vol. 24 (1956), S. 74-81; Shephard, R.W.: Dynamic Programming, Produktionsplanung zum Zwecke der Minimierung der Produktions- und Lagerkosten. In: Ablauf- und Planungsforschung, Bd. 5 (1964), S. 1-25; Wagner, Harvey M. und Thomas M. Whitin: Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. In: MS, Vol. 5 (1959), S. 89-96.

II. Die Entwicklung eines Grundmodelles zur Bestimmung der kostenminimalen Informationsübertragung

a. Die Erläuterung der Einflußfaktoren

Das betriebliche Informationsnetz wird durch die Gesamtheit der Informationswege gebildet, die zwischen den betrieblichen Informationsstellen bestehen. Im folgenden wird davon ausgegangen, daß ein Informationsweg schon dann vorliegen soll, wenn zwischen zwei Organisationseinheiten eine Kommunikationsmöglichkeit besteht. Offen bleibt, wodurch diese Kommunikationsbeziehung hergestellt wird. Damit werden nicht nur materiell erfaßbare Informationskanäle, sondern darüber hinaus alle durch organisatorische Maßnahmen hergestellten, nicht sichtbaren Informationsverbindungen unter dem Begriff " Informationsweg " zusammengefaßt. Allerdings werden informelle Kommunikationsbeziehungen in dieser Untersuchung nicht berücksichtigt.

Bei diesen Informationswegen werden direkte und indirekte unterschieden, wobei direkte Informationsverbindungen nur dann vorliegen, wenn zwei Organisationsstellen unmittelbar ohne Einschaltung einer weiteren Informationsstelle Informationen austauschen können. Im Gegensatz dazu kann eine Information auf indirekten Informationsverbindungen nur unter Einschaltung einer weiteren Organisationseinheit von einem Sender an den Empfänger übertragen werden. Ferner sind bei den Informationswegen im Hinblick auf die Flußrichtung einseitige und zweiseitige Verbindungen zu unterscheiden. Während bei allen einseitigen Informationswegen die Informationsstellen für jeden Informationsaustausch eindeutig als Sender oder als Empfänger klassifiziert sind, kann

bei zweiseitigen Informationsverbindungen jede Informationsstelle sowohl als Sender als auch als Empfänger fungieren.¹⁾

In diesem Abschnitt werden zunächst nur einstufige Informationswege - also Direktverbindungen zwischen benachbarten Organisationseinheiten - betrachtet.

Die Kapazität der Informationswege bzw. des betrieblichen Informationsnetzes ist von wesentlicher Bedeutung für die Gestaltung der Informationsprozesse und der Strukturierung von Kommunikationsnetzen. Die Nichtbeachtung von Kapazitätsbeschränkungen kann zu Verzögerungen oder darüberhinaus zu erheblichen Störungen der Informationsübertragung führen. Ebenso sind negative Einflüsse aus einer Überdimensionierung und damit einer fehlenden Auslastung des Informationsnetzes denkbar. Aus diesen Gründen hat sich die Nachrichtentechnik schon frühzeitig mit der kapazitiven Abstimmung von Informationsnetzen befaßt. Während unter nachrichtentechnischen Aspekten die technischen Probleme im Vordergrund standen, stellt sich das Problem der kapazitiven Abstimmung des betrieblichen Informationsnetzes allein schon wegen der Unterschiede zwischen Nachrichten (Signalen und Zeichen) und Informationen in einer anderen Form. Die Fragestellungen bei dem Informations- und Transportproblem sind lediglich dann vergleichbar, wenn nur auf materiell erfaßbare Informationswege unter Außerachtlassung der verbundenen Organisationseinheiten abgestellt wird.

Eine unterschiedliche Kapazität zweier Informationswege zeigt sich in der Menge der Informationen bzw.

1) Vgl. Kramer, Rolf: Kommunikation und Information, a.a.O., S. 109-125; Gutenberg, Erich: Unternehmensführung, Organisation und Entscheidung, a.a.O., S. 138.

den Informationsarten, die in einer gegebenen Zeit auf beiden Wegen übertragen werden können. Betrachten wir einen einzelnen Informationsweg, dann hängt seine Kapazität sowohl von der Fähigkeit der verbundenen Organisationseinheiten zur Übertragung als auch zur Aufnahme ab. Die Fähigkeit besteht vor allem darin, den Informationsinhalt in eine solche Form zu bringen, daß der Empfänger die Informationsabsicht unmittelbar erkennt. Daneben wird die Kapazität von der gewählten Kommunikationsform (schriftlich oder mündlich) und dem Kommunikationsmittel (z.B. Telefon) beeinflußt. So wird beispielsweise bei einer "face-to-face"-Kommunikation eine weitere Informationsübertragung an den Sender oder an den Informationsempfänger ausgeschaltet, während bei einer schriftlichen Information beide Organisationsstellen für die Zeit der Informationsübertragung für weitere Kommunikationsvorgänge zur Verfügung stehen. Liegt ein materiell erfaßbarer Informationsweg vor, dann tritt neben die Sende- und Aufnahmekapazität die Kapazität des Weges selbst als Einflußgröße für die Gesamtkapazität hinzu.

Wegen der Bedeutung der Kapazität für die Informationsübertragung wird häufig im Zusammenhang mit der Information und der Entscheidung die Forderung nach optimaler Kommunikationskapazität erhoben.¹⁾ Dieses Ziel zu verfolgen, ist dann nicht gerechtfertigt, wenn, wie es der Zusammenhang zwischen Information und Entscheidung erfordert, eine kurzfristige Analyse betrieben wird. Die Forderung nach einer optimalen Abstimmung des Kommunikationsnetzes setzt vielmehr eine umfassendere und längerfristige Analyse voraus. Sie hat das gesamte betriebliche Informationsnetz zu betrachten und

1) Vgl. Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 149.

nicht nur ein Teilnetz, daß der jeweiligen Entscheidungssituation entspricht. Ferner kann eine Abstimmung nur hinsichtlich der durchschnittlichen Kommunikationshäufigkeit erfolgen, wobei Sicherheitsreserven für Spitzenbelastungen berücksichtigt werden müssen. In der anschließenden Untersuchung werden daher die Kapazitäten der Informationswege nur als Rahmenbedingungen und somit als Daten für die Strukturierung von Informationsprozessen behandelt.

Die Kapazitätsbeanspruchung der Informationswege bzw. des gesamten Informationsnetzes wird gemessen an der Zeit oder der Zahl der Informationsvorgänge, die für die Durchführung der Informationsprozesse notwendig ist. Die Zeit ist jedoch nicht nur als Maßeinheit für die Beurteilung verschiedener Informationswege von Bedeutung, sondern in stärkerem Maße als selbständige Bestimmungsgröße für die Strukturierung von Kommunikationsabläufen. Diese Bedeutung wird aus dem Zusammenhang von Entscheidungs- und Informationsprozeß deutlich. Die Zeitpunkte bzw. der Zeitraum, der für die Informationsübertragung zur Verfügung steht, sowie die Art der benötigten Informationen werden durch die anstehende Entscheidung bestimmt. Eine Übersicht über die zu den jeweiligen Aufgaben und Entscheidungen notwendigen Informationen wird durch den Informationsplan gegeben, der die Empfänger und die Zeiten enthält, die als Daten der Informationsübertragung gelten.

Von dem Zeitraum ist streng die Zeitdauer zu trennen, die für die Übertragung auf den verschiedenen Informationsverbindungen und alternativen Zuordnungen von Sendern und Empfängern notwendig ist. Die zeitliche Beanspruchung hängt neben der mengenmäßi-

gen Ausprägung der Informationen, von den beteiligten Organisationseinheiten, der gewählten Informationsart und den Kommunikationsmitteln ab. Bei dem Informationsgeber sind für die Formulierung der Information die folgenden zeitbeanspruchenden Arbeitsgänge notwendig: Entwerfen, Schreiben und/oder Übermitteln. Bei dem Informationsempfänger erfordert die Aufnahme, das Verständnis und eine Entscheidung über eine Reaktion¹⁾ und in dem Spezialfall einer instruierenden Information²⁾ die Umwandlung der Anweisung in eine Tätigkeit eine bestimmte Zeit, die einerseits von der Empfangsbereitschaft und andererseits von der Gestaltung der Information abhängt.

Wird davon ausgegangen, daß der Informationsplan gegeben ist, dann besteht die Aufgabe darin, die Informationsprozesse in der Weise zu strukturieren, daß die Informationen in der gegebenen Zeit von den möglichen Sendern zu den Empfängern gelangen. Aus diesen Überlegungen ergeben sich Ansätze nicht nur für die Auswahl geeigneter Zuordnungen von Sendern und Empfängern, sondern auch für die zweckentsprechenden Informationsarten und -mittel.

Unter dem Gesichtspunkt, daß betriebliche Entscheidungen so schnell wie möglich herbeigeführt werden sollen, ferner Informationen nur eine begrenzte Aktualität besitzen, ergibt sich die Forderung nach einer zeitminimalen Erfüllung eines gegebenen In-

1) Im Gegensatz zu Gutenberg wird hier die Ansicht vertreten, daß auf jeden Informationsempfang eine Entscheidung folgt, da mindestens die Alternative Handeln oder nicht Handeln vorliegt. Vgl. E. Gutenberg: Unternehmensführung, Organisation und Entscheidung, Wiesbaden (1962), S. 131.

2) Vgl. zu der Einteilung der Informationen in informierende, instruierende und motivierende: Ackoff, Russell L.: Towards a Behavioral Theory of Communication, a.a.O., S. 218 .

formationsplanes. Darüberhinaus läßt sich diese Forderung damit begründen, daß in der Regel die Informationswege und die an der Informationsübertragung beteiligten Organisationseinheiten in dieser Zeit für weitere Informationsübertragungen ausscheiden. Ebenso ist zur Vermeidung von Leerzeiten, die durch eine zeitliche Diskrepanz zwischen Aufnahmebereitschaft und Abgabeverfügbarkeit gekennzeichnet sind, eine zeitminimale Informationsübertragung eine sinnvolle Forderung.¹⁾ Eng verwandt mit dem Kriterium der Zeitminimierung ist insbesondere bei mündlichen Informationen die Forderung nach den kürzesten Informationsverbindungen. Diese Forderung nach entfernungsminimalen Informationswegen findet ihre Begründung darin, daß bei dieser Kommunikationsart die Entfernungen wesentliche Bestimmungsgrößen für die Zeitdauer der Informationsübertragung sind. Zum anderen führt die Überlegung, daß mit zunehmender Entfernung und damit häufig auch einer größeren Zahl Zwischenträger die Gefahr von Informationsverzerrungen zunehmen kann, ebenso zu dieser Forderung wie die Tatsache, daß beispielsweise aus Gründen der Geheimhaltung oder der Kontrolle bestimmte Informationen nur wenigen Organisationseinheiten bekannt werden sollen.

Neben diesen Forderungen, die sich aus den Erfordernissen der Entscheidungsprozesse ergeben, ist das Streben nach Wirtschaftlichkeit, das ebenso für die Gestaltung der Informationsprozesse wie für jeden anderen betrieblichen Prozeß gilt, zu beachten. Daraus folgt, daß eine den Erfordernissen des Entscheidungsprozesses entsprechende Informationsüber-

1) Vgl. Gutenberg, Erich: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, 1. Bd., Die Produktion, 11. Aufl., Berlin-Heidelberg-New York 1966, S. 269; Coenenberg, Adolf G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 81.

tragung mit minimalen Kosten durchzuführen ist.

Selbst, wenn man von den Kosten des Aufbaues und der Unterhaltung von Kommunikationsnetzen absieht und nur auf die unmittelbar mit den Informationsprozessen verbundenen Kosten abstellt, stößt eine Systematik der Informationskosten bzw. der kostenverursachenden Faktoren auf erhebliche Schwierigkeiten. Für die folgende Untersuchung ist es ausreichend, als wesentliche Kosteneinflußgröße die zur Ausführung der Informationsübertragung erforderliche Zeit anzusehen, da sich in dieser Zeit wiederum die Einflüsse der Informationswege, -mittel, -arten und der beteiligten Organisationseinheiten zeigen.

b. Das Grundmodell

In der folgenden Untersuchung gehen wir von einem Kommunikationssystem aus, das allein durch die Aufgabenverteilung bestimmt ist. Ohne Berücksichtigung des hierarchischen Kompetenz- und Weisungssystems sind auf den direkten Informationswegen den einzelnen Aufgabenträgern die erforderlichen Informationen zu übermitteln¹⁾, die zur Erfüllung der gestellten Aufgabe notwendig sind, aber nur bei anderen Organisationseinheiten vorhanden sind oder von diesen beschafft werden können. In einem gegebenen Kommunikationsnetz ist die gleichfalls durch die Aufgabenverteilung determinierte Informationsnachfrage der Empfänger O_j ($j=1,2,\dots,N$) von den Sendern O_i ($i=1,2,\dots,M$) zu erfüllen, wobei diese Organisationseinheiten durch direkte Informationswege untereinander verbunden sind. Mit der Übertragung der Informationen von O_i an O_j seien unterschiedliche Kosten verbunden, die mit k_{ij} bezeichnet werden.

Wenn also der Sender O_i ($i=1,2,\dots,M$) und die Empfänger O_j ($j=1,2,\dots,N$) sowie die Übertragungskosten $k_{ij} \geq 0$ gegeben sind, dann wird die Abbildung f der Menge $O_1, \dots, O_j, \dots, O_N$ in die Menge $O_1, \dots, O_i, \dots, O_M$ gesucht, die bezüglich der Kosten minimal wird. Da bei der Informationsübertragung zu fordern ist, daß jedem Empfänger nur eine inhaltlich gleiche Information übertragen wird, gilt:

1) Vgl. Berthel, Jürgen: Information und Vorgänge ihrer Bearbeitung in der Unternehmung, Berlin (1967), S. 139; derselbe: Zur Organisation der Kommunikation in der Unternehmung. In: ZfB, 38. Jg. (1968), S. 409-432, insbes. S. 417-418.

$$(1.2.1) \quad x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{wenn } f(O_j) = O_i \\ 0, & \text{wenn keine Übertragung} \\ & \text{von } O_i \text{ an } O_j \text{ stattfindet} \end{cases}$$

bzw.

$$x_{ij} = x_{ij}^2 .$$

Unter dieser Annahme läßt sich die Abbildung f durch eine Matrix (x_{ij}) beschreiben, deren Elemente die Werte Null oder Eins annehmen können. Erfolgt eine Informationsübertragung von dem Sender O_i an O_j , dann steht an der Stelle (i,j) der Matrix (x_{ij}) eine Eins, sonst eine Null.¹⁾ Die Kosten der Zuordnung f sind dann:

$$(1.2.2) \quad K(f) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N k_{ij} x_{ij} .$$

Gesucht wird die optimale Zuordnung f^* mit

$$(1.2.3) \quad K(f') = \min_f K(f) .$$

Da die Menge der zulässigen Sender und Empfänger endlich ist, wird auch die Menge aller Zuordnungen f endlich sein und ein optimales f^* existieren.

Die Zielfunktion (1.2.3) ist unter Beachtung der Nebenbedingungen

$$(1.2.4) \quad \sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \quad \text{für alle } i=1,2,\dots,M \text{ und } j=1,2,\dots,N$$

zu minimieren. Durch diese Nebenbedingung wird sichergestellt, daß jeder Empfänger nur eine Information erhält.

1) Die Matrix (x_{ij}) enthält die Zahl der von O_i an O_j übertragenen Informationen.

Die Menge der von einem Sender übertragbaren Informationen wird durch die Sendekapazität begrenzt, die durch a_i symbolisiert wird. Daraus folgt:

$$(1.2.5) \quad \sum_{j=1}^N x_{ij} \leq a_i ;$$

d.h. die Zahl der Informationen, die von einem Sender an die Empfänger übertragen wird, muß mit der vorhandenen Sendekapazität vereinbar sein.

Für die Bestimmung der kostenminimalen Zuordnung ist also das folgende mathematische Problem zu lösen:

Suche:

$$(1.2.6) \quad K(f^*) = \min_{(x_{ij}) \in B} \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N k_{ij} x_{ij} \right]$$

mit:

$$B = \left[(x_{ij}) \mid x_{ij} = x_{ij}^2; \sum_{i=1}^M x_{ij} = 1; \sum_{j=1}^N x_{ij} \leq a_i \right].$$

Wenn zur Lösung dieses Problems die dynamische Programmierung herangezogen werden soll, muß die Voraussetzung erfüllt sein, daß eine Zerlegung des Entscheidungsproblems in einzelne Stufen zulässig ist. Führt man sukzessive die einzelnen Empfänger in die Betrachtung ein und geht in der Weise vor, daß zunächst die optimale Übertragung an den ersten Empfänger bestimmt wird, dann bietet sich eine Stufengliederung des Problems entsprechend der Zahl der zu informierenden Empfänger an. Ist

die erste Zuordnung ermittelt, dann sind noch die Übertragungen an die noch übrigen $N-1$ Empfänger zu berechnen. Nach diesem Vorgehen wird die gesuchte Zuordnung f schrittweise so aufgebaut, daß auf der j -ten Stufe entschieden wird, welcher Sender O_i die nachgefragte Information an O_j überträgt. Die Zustandsvariablen einer Stufe werden durch die Menge x_i der von dem Sender O_i unter Beachtung der Sendekapazität lieferbaren Informationen gegeben.

Die minimalen Kosten (K_N) für die Übertragung der von allen N -Empfängern nachgefragten Informationen hängen bei gegebenem Informationsbedarf von den Mengen x_i ab, die von den einzelnen Sendern im Rahmen der Sendekapazität übertragen werden können:

$$(1.2.7) \quad K_N(x_1, x_2, \dots, x_N) = \min_{(x_{ij}) \in B} \left[\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N k_{ij} x_{ij} \right]$$

Zur Ableitung der Rekursionsbeziehungen beginnen wir mit der Bestimmung der Informationsübertragung an den letzten noch nicht berücksichtigten Empfänger. Unter der Annahme, es seien schon $N-1$ Empfänger informiert, ist für die Stelle O_1 zu entscheiden, welcher Sender an diese Stelle die Information überträgt. Aus den noch verfügbaren Sendern ist nun derjenige auszuwählen, der die Übertragungskosten minimiert. Welche Sender verfügbar sind und im Rahmen ihrer Sendekapazitäten für die Übertragung an den letzten Empfänger eingesetzt werden können, hängt von den Entscheidungen auf den vorhergehenden Stufen ab. Da diese Entscheidungen erst bekannt sind, wenn alle Prozeßstufen abgeschlossen sind, ist die Zielfunktion dieser Stufe

$$(1.2.8) \quad K_1(x_1, x_2, \dots, x_M) = k_{11}x_{11} + \dots + k_{M1}x_{M1}$$

für alle möglichen Zustände zu optimieren. Die einzelnen Zustände unterscheiden sich in der Zusammensetzung der jeweils noch verfügbaren Sender.

Wird die Überlegung auf einen zweiten Empfänger ausgedehnt, dann ist diejenige Zuordnung zu bestimmen, die den zweistufigen Restprozeß optimiert. Der Entscheidungsbereich wird wiederum durch die auf den vorhergehenden Stufen erfolgten Zuordnungen begrenzt. Für jeden möglichen Zustand ist der Sender auszuwählen, welcher die Information mit minimalen Kosten an O_2 überträgt. Diese Entscheidung kann jedoch nicht ohne Berücksichtigung des Empfängers O_1 erfolgen, da durch die Entscheidung auf der Stufe 2 die Zustände der Stufe 1 beeinflußt werden.

Aus diesem Grund ist die Entscheidung auf der Stufe 2 zu treffen, die das Ergebnis der Verknüpfung aus dem Einzelergebnis der Stufe 2 und dem dieser Stufe folgenden optimalen Prozeß optimiert¹⁾. Die Begründung dieser Forderung folgt aus dem Optimalitätsprinzip. Stehen die Sender O_1 für eine Übertragung an den Empfänger O_2 zur Verfügung, dann muß die Entscheidung in der Weise getroffen werden, daß eine kostenminimale Informationsübertragung an den Empfänger O_2 erfolgt; zunächst unabhängig davon, welche Zuordnung auf den Empfänger O_1 festgelegt wurde. Soll aber andererseits die Gesamtheit der Zuordnungen für beide Empfänger kostenminimal sein, dann muß auch die Informationsüber-

1) Vgl. Bellman, Richard: Dynamic Programming, a.a.O., S. 83; Bellman, Richard und Stuart E. Dreyfus: Applied Dynamic Programming, a.a.O., S. 15.

tragung an den Empfänger O_1 kostenminimal sein. Wäre dies nicht der Fall, dann würde die optimale Informationsübertragung an O_2 gemeinsam mit einer günstigeren Zuordnung für den Empfänger O_1 insgesamt kostengünstiger.

Daher ist auf der Stufe 2 eine Entscheidung für alle möglichen Zustände zu treffen, die bewirkt, daß der Zielwert K_1 , der dem aus dieser Entscheidung resultierenden Zustand entspricht, gemeinsam mit den Kosten der Information des Empfängers O_2 einen optimalen Zielwert (K_2) ergibt:

(1.2.9)

$$K_2(x_1, x_2, \dots, x_M) = \min_{\substack{x_{12} + \dots + x_{M2} \\ 0 \leq x_{12} \leq x_1 \leq a_1}} \left[k_{12}x_{12} + \dots + k_{M2}x_{M2} + K_1(x_1 - x_{12}, \dots, x_M - x_{M2}) \right] .$$

Berechnet man (1.2.9.) für alle möglichen Zustände, dann besitzt man einen Plan optimaler Entscheidungen für die beiden letzten Stufen, d.h. wie den beiden verbliebenen Empfängern jeweils die Informationen zu übertragen sind. Aus diesem Plan kann für jeden Zustand, der durch die vorhergehenden Entscheidungen bestimmt wird, die optimale Entscheidung für den zweistufigen Restprozeß ermittelt werden. Nehmen wir an, daß ein bestimmter Zustand zu Beginn des Restprozesses aus einer optimalen Entscheidungspolitik resultiert, dann wird zusammen mit der optimalen zweistufigen Teilpolitik auch der Gesamtprozeß optimiert.

Allgemein ergibt sich aus diesen Überlegungen für eine beliebige Stufe j :

(1.2.10)

$$K_j(x_1, x_2, \dots, x_M) = \min_{\substack{x_{1j} + \dots + x_{Mj} = 1 \\ 0 \leq x_{ij} \leq a_i}} \left[k_{1j} x_{1j} + \dots + k_{Mj} x_{Mj} \right. \\ \left. + K_{j-1}(x_1 - x_{1j}, \dots, x_M - x_{Mj}) \right]$$

mit

$$K_1(x_1, x_2, \dots, x_M) = k_{11} x_{11} + \dots + k_{M1} x_{M1} ,$$

für $j=1, \dots, N$ und $N \geq 2$.

Das zu ermittelnde Minimum errechnet sich rekursiv aus (1.2.10) und ist erreicht, wenn $K_N(x_1, x_2, \dots, x_M)$ bestimmt ist. Von einem rekursiven Vorgehen wird aus dem Grund gesprochen, da die Zielfunktion K_N nicht unmittelbar zu minimieren ist, sondern nur wenn K_{N-1} bekannt ist.

Die mit dem Minimum der Zielfunktion verbundene Entscheidungsfolge kann rekursiv aus K_N bestimmt werden. Aus dem Zielwert K_N ist bekannt, welche Entscheidung zu diesem Wert führt, d.h. welcher Sender auf der Stufe N den Empfänger O_N zu informieren hat. Mit der Kenntnis dieser Entscheidung und der damit verbundenen Zustandsänderung ist der Anfangszustand des $N-1$ -stufigen Restprozesses bekannt und gleichzeitig die optimale Entscheidung über die Informationsübertragung an O_{N-1} determiniert. Auf diese Weise werden die Zuordnungen für alle Empfänger sukzessive ermittelt.

c. Exemplifizierung des Grundmodelles

Mit dem folgenden Beispiel zur Bestimmung der kostenminimalen Informationsversorgung wird das dargestellte Vorgehen bei der Anwendung der dynamischen Programmierung konkretisiert. Gegeben seien $N=5$ Empfänger O_j ($j=1,2,\dots,5$) und $M=3$ Sender O_i ($i=1,2,\dots,3$), bei denen die nachgefragten Informationen vorhanden sind. Die Übertragung einer Information von O_i an O_j verursache Kosten k_{ij} , die für die einzelnen Informationsvorgänge in der Kostenmatrix (k_{ij}) zusammengefaßt sind:

$$(k_{ij}) = \begin{bmatrix} \infty & 4 & 6 & 3 & 2 \\ 1 & \infty & 2 & 3 & 4 \\ 2 & 1 & \infty & 4 & 1 \end{bmatrix}$$

Ist $k_{ij} = \infty$, wird angezeigt, daß zwischen dem Sender O_i und dem Empfänger O_j keine Informationsübertragung zulässig ist, da diese Informationsstellen nicht durch einen Informationsweg verbunden sind. Ferner folgt aus der häufig begrenzten Aktualität der Informationen für den Auftragsempfänger und der unterschiedlichen Fähigkeit der Sender, die Informationen vorzubereiten und zu übertragen, daß die Sender in der verfügbaren Zeit eine unterschiedliche Anzahl von Informationen übermitteln können. Diese Tatsache wird in der vorhandenen Sendekapazität berücksichtigt, die durch die Zahl der in der vorhandenen Zeit übertragbaren Informationen eines Senders ausgedrückt wird. In diesem Beispiel werden folgende Sendekapazitäten (a_i) berücksichtigt :

Sender	Sendekapazität (a_i)
O_1	2
O_2	1
O_3	2
	5 = N

Wie aus der Übersicht zu entnehmen ist, wird für dieses Modell angenommen, daß kein Sender alleine in der Lage ist, allen Empfängern die nachgefragten Informationen zu übertragen. Vielmehr wird von der Annahme ausgegangen, daß die Zahl der in der vorhandenen Zeit von den Sendern insgesamt übertragbaren Informationen gerade ausreicht, die gesamte Informationsnachfrage zu befriedigen. Diese Voraussetzung wird jedoch nur zur Vereinfachung und Abkürzung der Rechenschritte eingeführt, ist jedoch für die Anwendung der dynamischen Programmierung selbst nicht erforderlich.

Für einen dynamischen Programmierungsansatz wird das Optimierungsproblem entsprechend der Zahl der Empfänger in fünf Stufen eingeteilt. Auf jeder Stufe j ($j=1,2,\dots,5$) sind verschiedene Zustände möglich, die durch die eventuell noch verfügbaren Informationen bei den einzelnen Sendern O_i charakterisiert werden. Wenn durch einen bestimmten Zustand die Situation beschrieben wird, daß die Sendekapazität eines Senders erschöpft ist, da z.B. eine weitere Information in der vorgeschriebenen Zeit nicht mehr übertragen werden kann, dann zeigt der Zustandsvektor gleichzeitig andere zulässige Alternativen. Auf jeder Stufe der Rechnung ist eine Entscheidung darüber zu treffen, welcher Sender den dieser Stufe zugehörenden Empfänger informieren soll.

Der Entscheidungsraum wird durch den jeweiligen Zustand, die Sendekapazität und die Bedingung begrenzt, daß jedem Empfänger nur eine Information übertragen wird.

Die Bestimmung des optimalen Zielwertes aus der Rekursionsbeziehung

(1.2.11)

$$K_N(x_1, \dots, x_M) = \min_{\substack{x_{1N} + \dots + x_{MN} = 1 \\ 0 \leq x_{iN} \leq x_i \leq a_i}} \left[k_{1N} x_{1N} + \dots + k_{MN} x_{MN} \right. \\ \left. + K_{N-1}(x_1 - x_{1N}, \dots, x_M - x_{MN}) \right]$$

beginnt mit:

(1.2.12)

$$K_1(x_1, x_2, x_3) = k_{11} x_{11} + k_{21} x_{21} + \dots + k_{31} x_{31} .$$

Da von der Voraussetzung ausgegangen wurde, daß die Zahl der übertragbaren mit den nachgefragten Informationen übereinstimmt, wird jeder Zustand dieser Stufe durch einen verfügbaren Sender O_i charakterisiert. Daher sind die minimalen Kosten der Übertragung an den letzten verbliebenen Empfänger $K_1(x_1, x_2, x_3) = k_{i1} x_{i1}$ und können aus der Kostenmatrix (k_{ij}) direkt entnommen werden.

Tabelle 1: 1)

$K_1(x_1, x_2, x_3)$	(x_1, x_2, x_3)	O_i
∞	(1, 0, 0)	O_1
1	(0, 1, 0)	O_2
2	(0, 0, 1)	O_3
1	(0, 3, 0)	O_2
1	(0, 2, 1)	O_2
1	(0, 1, 2)	O_2

In dem zweiten Schritt wird die erste mit der zweiten Stufe kombiniert. Die minimalen Kosten der Informationsübertragung an die Empfänger O_1 und O_2 bei alternativen Zuständen errechnen sich aus:

(1.2.13)

$$K_2(x_1, x_2, x_3) = \min_{\substack{x_{12} + x_{22} + x_{32} = 1 \\ 0 \leq x_{i2} \leq x_i \leq a_i}} \left[k_{12} x_{12} + k_{22} x_{22} + k_{32} x_{32} + K_1(x_1 - x_{12}; x_2 - x_{22}; x_3 - x_{32}) \right] .$$

Die Zustände auf dieser Stufe 2 werden durch die Informationen bei den einzelnen Sendern gekennzeichnet, die im Rahmen der Sendekapazität noch für die Übertragung an die Empfänger vorhanden sind. Als mögliche Zustände dieser Stufe sind folgende Situationen zu berücksichtigen: Die Übertragung an beide Empfänger kann von einem Sender ausgeführt werden, wenn dieser mit beiden Empfängern

1) Die Zahlen unter dem Doppelstrich gelten erst für die Erweiterungen.

verbunden ist und seine Sendekapazität ausreicht. Durch $(0,0,2)$ wird beispielsweise ausgedrückt, daß der Sender O_3 noch über zwei Informationen verfügt, die an die Empfänger übertragen werden können. Ferner stehen sämtliche Kombinationen aus je zwei Sendern zur Verfügung, z.B. $(1,1,0)$ oder $(1,0,1)$ usw. Bei dem Zustand $(0,1,1)$ können von dem Sender O_2 und O_3 je eine Information übertragen werden, und die Entscheidung bezieht sich nun auf die Zuordnung der Sender auf die Empfänger. In der Tabelle 2 sind die minimalen Übertragungskosten für alle mit den Kapazitätsbeschränkungen vereinbarten Zustände berechnet.

Tabelle 2:

$K_2(x_1, x_2, x_3)$	(x_1, x_2, x_3)	O_i
5	$(1,1,0)$	O_1
6	$(1,0,1)$	O_1
2	$(0,1,1)$	O_3
∞	$(2,0,0)$	-
3	$(0,0,2)$	O_3
2	$0,3,1$	O_3
5	$1,3,0$	O_1
2	$0,2,2$	O_3
5	$2,2,0$	O_1
2	$1,2,1$	O_3

So errechnet sich beispielsweise der Wert für $K_2(1,1,0)$ entsprechend (1.2.13) aus:

$$K_2(1,1,0) = \text{Min}_{\substack{x_{12}+x_{22}=1 \\ 0 \leq x_{12} \leq x_1 \leq a_1}} \begin{bmatrix} k_{12}x_{12} + K_1(0,1,0) \\ k_{22}x_{22} + K_1(1,0,0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4+1 \\ \infty+\infty \end{bmatrix} = 5$$

wobei die Werte für $K_1(x_1, x_2, x_3)$ aus der Tabelle 1 entnommen werden. Wenn durch die optimale Gesamtzuordnung der Zustand gegeben ist, daß die beiden Sender O_1 und O_2 , die bei ihnen vorhandene Information an die Empfänger O_1 und O_2 zu übertragen haben, dann werden die minimalen Informationskosten $K_2(1,1,0)=5$ nur erreicht, wenn O_1 die Information an O_2 und der Sender O_2 an den Empfänger O_1 überträgt.

Im dritten Rechenschritt werden die minimalen Übertragungskosten für drei Empfänger aus:

(1.2.14)

$$K_3(x_1, x_2, x_3) = \text{Min}_{\substack{x_{13}+x_{23}+x_{33}=1 \\ 0 \leq x_{13} \leq x_1 \leq a_1}} \{ k_{13}x_{13} + k_{23}x_{23} + k_{33}x_{33} + K_2(x_1 - x_{13}; x_2 - x_{23}; x_3 - x_{33}) \}$$

berechnet. Die Ergebnisse für alle erlaubten Zustände sind in der Tabelle 3 zusammengefaßt:

Tabelle 3:

$K_3(x_1, x_2, x_3)$	(x_1, x_2, x_3)	O_1
8	(1, 1, 1)	O_1 u. O_2
11	(2, 1, 0)	O_1
12	(2, 0, 1)	O_1
9	(1, 0, 2)	O_1
5	(0, 1, 2)	O_2
7	(2, 3, 0)	O_2
4	(0, 3, 2)	O_2
4	(1, 3, 1)	O_2
4	(1, 2, 2)	O_2
4	(2, 2, 1)	O_2

Wenn von den Sendern O_1, O_2, O_3 je eine Information noch übertragen werden kann, werden die minimalen Kosten der Information der Stellen O_1, O_2 und O_3 aus:

$$K_3(1, 1, 1) = \min_{\substack{x_{13} + x_{23} + x_{33} = 1 \\ 0 \leq x_{i3} \leq x_i \leq a_i}} \begin{bmatrix} k_{13}x_{13} + K_2(0, 1, 1) \\ k_{23}x_{23} + K_2(1, 0, 1) \\ k_{33}x_{33} + K_2(1, 1, 0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6+2 \\ 2+6 \\ \infty+5 \end{bmatrix} = 8$$

errechnet.

Aus (1.2.14) gelangt man rekursiv zu

(1.2.15)

$$K_4(x_1, x_2, x_3) = \min_{\substack{x_{14} + x_{24} + x_{34} = 1 \\ 0 \leq x_{i4} \leq x_i \leq a_i}} \{ k_{14}x_{14} + k_{24}x_{24} + k_{34}x_{34} + K_3(x_1 - x_{14}; x_2 - x_{24}; x_3 - x_{34}) \}$$

und kann unter Verwendung der optimalen Werte in Tabelle 3 die Übertragungskosten für die Information der Empfänger O_1, O_2, O_3 und O_4 für alle Zustände bei Befolgung einer optimalen Politik bestimmen. Diese Werte sind in der Tabelle 4 zusammengefaßt.

Tabelle 4:

$K_4(x_1, x_2, x_3)$	(x_1, x_2, x_3)	O_i
11	(2,1,1)	O_1
8	(1,1,2)	O_1
12	(2,0,2)	O_1
10	(2,1,2)	O_1
7	(2,3,1)	O_1 oder O_2
7	(1,3,2)	O_1 oder O_2
7	(2,2,2)	O_1 oder O_2

Der Zustand (0,2,2) ist nicht zulässig, da wegen der beschränkten Sendekapazität von O_2 ($a_2=1$) nur insgesamt eine Information übertragen werden kann.

Mit der Bestimmung der minimalen Informationskosten für den Empfänger O_5 sind alle Empfänger eingeschlossen. Diese Kosten werden aus:

(1.2.16)

$$K_5(x_1, x_2, x_3) = \min_{\substack{x_{15} + x_{25} + x_{35} = 1 \\ 0 \leq x_{i5} \leq x_i \leq a_i}} \left\{ k'_{15} x_{15} + k'_{25} x_{25} + k'_{35} x_{35} + K_4(x_1 - x_{15}; x_2 - x_{25}; x_3 - x_{35}) \right\}$$

errechnet. Setzt man die entsprechenden Zahlenwerte ein, so ergibt sich:

$$K_5(2,1,2) = \min_{\substack{x_{15}+x_{25}+x_{35}=1 \\ 0 \leq x_{15} \leq x_i \leq a_i}} \begin{bmatrix} k_{15}x_{15} + K_4(1,1,2) \\ k_{25}x_{25} + K_4(2,0,2) \\ k_{35}x_{35} + K_4(2,1,1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2+8 \\ 4+12 \\ 1+11 \end{bmatrix} = 10$$

Tabelle 5:

$K_5(x_1, x_2, x_3)$	(x_1, x_2, x_3)	O_i
10	(2, 1, 2)	O_1
=====		
8	(2, 3, 2)	O_3

Die optimale Zuordnung führt zu Kosten in Höhe von 10. Aus diesem Zielwert ist nun die zugehörige Entscheidungsfolge zu bestimmen. Aus der Tabelle 5 ist zu ersehen, daß die minimalen Kosten erreicht werden, wenn der Sender O_1 den Empfänger O_5 informiert. Mit dieser Entscheidung verringert sich der Informationsbestand des Senders und zu Beginn der Stufe 4 herrscht der Zustand (1,1,2). Die diesem Zustand entsprechende Entscheidung kann aus Tabelle 4 abgelesen werden; auf der Stufe 4 sendet O_1 an den Empfänger O_4 . Geht man in gleicher Weise bei den anderen Stufen vor, dann informiert Sender O_2 die Stelle O_3 , O_3 den Empfänger O_2 und O_3 die Stelle O_1 . Damit ist die optimale Entscheidungspolitik für die Informationsübertragung von drei Sendern mit begrenzter Kapazität und fünf Empfängern ermittelt.

III. Erweiterungen des Grundmodelles

a. Die Berücksichtigung von Überschuß- und Fehlmengen

Für eine erste Erweiterung des Grundmodelles wird die Annahme aufgegeben, daß die Sendekapazitäten gerade ausreichen, die gesamte Informationsnachfrage zu erfüllen. Darum wird zunächst berücksichtigt, daß die Sendekapazität größer als der Informationsbedarf ist:

$$(1.3.1) \quad \sum_{i=1}^M a_i \geq \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij} .$$

Zur Erläuterung dieses Sachverhaltes wird angenommen, daß die Sendekapazität der Stelle O_2 auf $a_2=3$ (vorher $a_2=1$) erhöht wird. Diese Kapazitätsausweitung kann darauf zurückgeführt werden, daß der Sender über weitere Kommunikationsmittel verfüge oder eine andere Kommunikationsform wählt, die eine schnellere Informationsübertragung gewährleistet.

In den Tabellen 1-5 sind die Zahlwerte für diese neue Kapazität unter dem Doppelstrich angegeben. Aus dieser Änderung resultiert eine Erhöhung der möglichen Zustände auf jeder Stufe. Wie aus der Tabelle 5 entnommen werden kann, sind die Kosten einer optimalen Informationsübertragung kleiner als in dem ersten Beispiel. Diese Kostensenkung ist damit zu erklären, daß der Sender O_2 insgesamt günstiger übertragen kann als der Sender O_1 und dieser Vorteil durch die Kapazitätsausweitung

wirksam wird. Den minimalen Übertragungskosten
 $[K_N(x_1, x_2, x_3) = 8]$ entspricht folgende Zuordnung:

Empfänger	O_j	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5
Sender	O_i	O_2	O_3	O_2	O_2	O_3

Aus dieser Zuordnung wird deutlich, daß die Kapazität der Sender O_2 und O_3 voll ausgeschöpft wird, während der Sender O_1 nicht in die Übertragung eingeschaltet wird.

Verursachen die überschüssigen Kapazitäten Kosten, so können diese explizite in dem Programmierungsansatz durch die Einführung eines fiktiven Empfängers O_6 berücksichtigt werden. Die Kosten der Übertragung an diesen Empfänger entsprechen den Kosten, die dadurch entstehen, daß die Information beispielsweise ausgefertigt, bereitgestellt, aber nicht übertragen werden. In diesem Fall ist der Optimierungsprozeß um eine sechste Stufe zu erweitern, auf der als Zustände die verschiedenen Überschußmengen bei den einzelnen Sendern berücksichtigt werden. Die optimale Lösung beantwortet nicht nur die Frage nach der kostenminimalen Zuordnung, sondern gleichfalls wo die einzelnen überschüssigen Informationen mit dem geringsten Verlust gespeichert werden sollen.

In ähnlicher Weise ist vorzugehen, wenn die Sendekapazitäten nicht zur Übertragung der erforderlichen Informationen ausreichen:

$$(1.3.2) \quad \sum_{i=1}^M a_i \leq \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ij}.$$

Alle Empfänger werden mit einem hypothetischen Sender verbunden. Werden die fiktiven Informationswege mit den Kosten bewertet, die dadurch entstehen, daß die erforderlichen Informationen erst verspätet übertragen werden können oder erst von einer anderen Stelle zu beschaffen sind, dann gibt die optimale Lösung nicht nur an, welche Zuordnung kostenminimal ist, sondern ferner welcher Empfänger mit den geringsten Kosten von der Informationsübertragung ausgeschlossen werden kann bzw. welcher Empfänger erst später von einer anderen Stelle zu informieren ist.

b. Die Beachtung unterschiedlicher Informationsarten in dem Grundmodell

Bei dezentral organisierter Aufgabenverteilung werden Entscheidungen durch die Zusammenarbeit verschiedener Entscheidungsträger getroffen. Diese Dezentralisation der Entscheidungsbefugnis bedingt die Koordination der einzelnen Teilentscheidungen. Daraus resultiert nicht nur eine vermehrte Informationsnachfrage, sondern auch eine unterschiedliche Zusammensetzung des Informationsbedarfs der einzelnen Entscheidungsträger.¹⁾

Dieser Sachverhalt gilt jedoch nicht nur für die Entscheidungsträger, sondern generell für alle an einer Arbeitsausführung in einem multipersonalen, arbeitsteilig organisierten Betrieb beteiligten Organisationseinheiten. Die Änderung der Informationsnachfrage

1) Vgl. Pietsch, Jürgen: Die Information industrieller Unternehmen, a.a.O., S. 46; Hax, Karl: Planung und Organisation als Instrumente der Unternehmensführung, a.a.O., S. 610.

hängt davon ab, welche zusätzlichen Informationen über sachliche und zeitliche Beziehungszusammenhänge erforderlich sind. Für die Koordination der einzelnen Aktionseinheiten und die Steuerung auf ein gemeinsames Unternehmensziel hin, sind die einzelnen Organisationseinheiten mit den notwendigen Informationen zu versorgen.¹⁾ Neben den allgemeinen Informationen, die für alle Stellen von Interesse sind, werden spezielle Informationen, die auf die einzelnen Teilverrichtungen abgestellt sind, notwendig. Daraus kann geschlossen werden, daß auch in einer gegebenen Entscheidungssituation die Unterstellung einer inhaltlich gleichen Informationsnachfrage nur teilweise berechtigt ist.

Für eine Verallgemeinerung ist daher zu beachten, daß der Informationsbedarf der Empfänger in seiner Zusammensetzung differiert, wobei jedoch einzelne Informationsarten von mehreren Stellen nachgefragt werden können. Ebenfalls besteht der Informationsbestand der Sender aus verschiedenen Informationsarten. Verfügen die einzelnen Sender über Informationen unterschiedlicher Art, die jeweils nur für ganz bestimmte Empfänger oder Gruppen von Empfängern wichtig sind, dann ist bei der Bestimmung der optimalen Zuordnung zu entscheiden, welcher Sender welche Information zu übertragen hat. Stehen sich also die Empfänger und die Sender nicht mehr uneingeschränkt indifferent gegenüber, dann ist bei der optimalen Informationsversorgung neben den Informationswegen, die für die Übertragung benutzt werden, festzulegen, welche Informationsarten in der verfügbaren Zeit oder der vorhandenen Sendekapazität zu übertragen sind.

1) Vgl. Wild, Jürgen: Grundlagen und Probleme der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre, Berlin (1966), S. 97-101.

Es ist nun zu zeigen, wie das behandelte Grundmodell und die Konzeption der dynamischen Programmierung auf "Mehrsortenprobleme" angewendet werden können. Befassen wir uns zunächst mit der Frage, wie der Informationsbedarf eines einzigen Empfängers optimal erfüllt werden kann, wenn die einzelnen Sender über unterschiedliche Informationsarten verfügen. Zur Lösung dieses Problems wird der Empfänger in eine der gewünschten Informationsarten entsprechende Zahl fiktiver Empfänger unterteilt, die jeweils nur eine Information einer bestimmten Art empfangen. Der Index j in dem Grundmodell würde nunmehr die einzelnen Informationsarten kennzeichnen. Ferner gewährleistet nach dieser Interpretation die Nebenbedingung (1.2.1), daß alle Sender jeweils nur eine Information gleichen Inhalts übertragen. Durch die einzelnen Informationsverbindungen wird zum Ausdruck gebracht, welche Sender jeweils über welche Informationen verfügen oder die nachgefragten Informationen beschaffen können. Sie kennzeichnen nicht nur die Sender, die mit dem Empfänger direkt verbunden sind, sondern gleichzeitig die Zusammensetzung des Informationsbestandes bei den einzelnen Sendecorten. Bei der Anwendung der dynamischen Programmierung auf dieses Problem, wird eine Stufeneinteilung entsprechend der Zahl der nachgefragten Informationsarten vorgenommen. Auf jeder Stufe ist für jeden möglichen Zustand zu entscheiden, welche Stelle die zugehörige Informationsart bei Befolgung einer optimalen Politik zu übertragen hat.

Die optimale Lösung des Mehrsortenproblems unter Verwendung der Zahlenwerte des Grundmodelles gibt an, welche Sender die einzelnen Informationsarten unter Berücksichtigung der Sendekapazitäten zu über-

tragen haben, wenn die Übertragung mit minimalen Kosten ausgeführt wird. Die Zusammenstellung

Sender O_i	1	1	2	3	3
Informationsart	5	4	3	2	1

zeigt nun an, welche Zuordnungen zu den minimalen Kosten von 10 führen.

Diese Übertragung des Grundmodelles gilt jedoch nicht nur bei einem Empfänger und mehreren Informationsarten, sondern auch bei mehreren Empfängern mit unterschiedlicher Informationsnachfrage. Wiederum sind die einzelnen Empfänger in eine der Zahl nachgefragter Arten entsprechende Menge von Empfangsstellen zu unterteilen. Da jeweils nur eine Information den einzelnen Stellen zu übertragen ist, kennzeichnet die Auswahl eines Weges unmittelbar die Informationsart sowie die sendende und empfangende Stelle. Wenn auch formal lediglich ein Informationsweg ausgewählt wird, so werden damit sachlich mehrere Einflußgrößen gleichzeitig festgelegt. Ferner spricht gegen die Behauptung, "beim Kommunikationsproblem ist allein noch der Weg fraglich",¹⁾ daß erst durch die Festlegung der dem optimalen Zielwert entsprechenden Entscheidungsfolge eine Verteilung der Funktionen erfolgt, die von den einzelnen Stellen bei dem Informationsprozeß auszuführen sind. So hat in unserem Beispiel die Optimierung gezeigt, daß der Sender O_2 durch seine erhöhte Sendekapazität den Sender O_1 verdrängt hat und dieser nicht mehr an dem Informationsprozeß beteiligt ist.

1) Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen ..., a.a.O., S. 99.

c. Die Kommunikationsmittel und -formen als
Einflußgrößen der Informationsübertragung
und ihre Aufnahme in das Grundmodell

Die Kosten der innerbetrieblichen Informationsübertragung werden wesentlich durch die Leistungsfähigkeit der Kommunikationspartner und der sie verbindenden Informationswege bestimmt. Neben der grundsätzlichen Eignung der einzelnen Informationsstellen zur Aufnahme, Verarbeitung und Übertragung von Informationen wird ihre Leistungsfähigkeit durch die verfügbaren Kommunikationsmittel (z.B. Telefon, Fernschreiber) und die Kommunikationsform (schriftlich oder mündlich) beeinflusst. Vor allem spielt die Kommunikationsform für die räumliche und zeitliche Strukturierung der Informationsvorgänge eine wesentliche Rolle. Die Kommunikationsform (telefonische oder schriftliche Informationsübermittlung) wirkt sich nicht nur auf die Leistungsfähigkeit, sondern gleichfalls auf die Kommunikationskapazität (die Zahl der pro Zeiteinheit übertragbaren Informationen) aus. Als weitere Einflußgrößen sind auch die Kommunikationsmittel in dem Grundmodell zu berücksichtigen, die erst bestimmte Kommunikationsformen ermöglichen.¹⁾ Da die Auswirkungen der unterschiedlichen Kommunikationsformen und -mittel auf die Veränderung der Kommunikationskapazität oder die Übertragungszeit nicht isoliert werden können, werden beide Einflußgrößen gemeinsam betrachtet.

Die Berücksichtigung dieser Faktoren in dem Grundmodell hängt von ihrer Wirkung auf die Leistungsfähigkeit ab. Bleibt die Kommunikationskapazität

1) Vgl. Berthel, Jürgen: Information und Vorgänge ihrer Bearbeitung..., a.a.O., S. 146; Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 146-151; Coenenberg, Adolf G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 120-128.

unbeeinflusst, dann ist diese Einflußgröße in den Bewertungsfaktoren zu erfassen. Vor der Berechnung der optimalen Zuordnung werden das Kommunikationsmittel und die Kommunikationsform ausgewählt, die zu minimalen Übertragungskosten bei jedem Sender führen. Mit diesem Wert werden die einzelnen Informationsverbindungen bewertet und in die anschließende Optimierung aufgenommen.

Schwieriger wird die Berücksichtigung von Änderungen der Kommunikationskapazität in Abhängigkeit von den Kommunikationsmitteln. In diesen Fällen ist für jede Kapazitätsaufteilung eine optimale Lösung zu bestimmen. Jedoch ist eine neue Berechnung nur in dem Ausmaß nötig, wie aufgrund der Kapazitätsänderungen die Zustände auf den einzelnen Stufen des Problems variieren.

- B. Die Bedeutung des Modelles für die Beurteilung organisatorischer Maßnahmen bei Informationsvorgängen
- I. Vergleich von linearer und dynamischer Programmierung im Hinblick auf ihre Anwendbarkeit bei ökonomischen Informationsproblemen
 - a. Die kritische Untersuchung der Optimierung von Informationsvorgängen mit der linearen Programmierung

In den deutschsprachigen Veröffentlichungen der Betriebswirtschaftslehre wurde den speziellen ökonomischen Problemen der Informationsübertragung in dem innerbetrieblichen Kommunikationsnetz bisher nur wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Fanden sie überhaupt Beachtung, dann lediglich im Zusammenhang mit den Problemen des innerbetrieblichen Transportwesens, wobei ihnen jedoch eine untergeordnete Bedeutung zugewiesen wurde.¹⁾ Dieses Vorgehen wurde durch die Ansicht gestützt, zwischen Realgütern und betrieblichen Informationen bestünden Gemein-

1) Vgl. z.B. Illetschko, Leopold L.: Innerbetrieblicher Transport und betriebliche Nachrichtenübermittlung, Stuttgart 1962, S. 5-9, 14 und 35; derselbe: Automation und Betriebswirtschaft, Wien 1957, S. 34; Acker, Heinrich: Die organisatorische Stellengliederung im Betrieb, Wiesbaden (1956), S. 86; Rehbein, Gerhard und Hermann Wagener: Grundlagen der Ökonomik des Transport- und Nachrichtenwesens, 3. Aufl., Berlin (1967), S. 71-96; Bierfelder, Wilhelm H.: Optimales Informationsverhalten im Entscheidungsprozeß der Unternehmung, Berlin (1968), S. 41; Adam, A.: Messen und Regeln in der Betriebswirtschaftslehre, Würzburg 1959, S. 1.

samkeiten, die somit eine spezielle Untersuchung von Informationsproblemen, insbesondere Fragen der innerbetrieblichen Informationsübermittlung, überflüssig machten.¹⁾

Dieses Vorgehen wurde damit begründet, daß Informationen als Güter behandelt werden könnten, da sie Merkmale und Eigenschaften aufweisen, die für Wirtschaftsgüter typisch sind. Der Gutscharakter von Informationen wird besonders deutlich bei speziellen Informationsunternehmen²⁾ (z.B. Marktforschungsinstituten, Pressestellen und Detekteien), die nachgefragte Informationen beschaffen und verkaufen.

Abstrakt gesehen wird sowohl das betriebliche Kommunikationsnetz als auch das Transportnetz durch eine Menge von Punkten (Personen, Orten) gebildet, die durch Linien verbunden sind. Da sich für das Transportnetz und ebenso das Kommunikationsnetz die Frage nach einer Zuordnung der einzelnen Punkte zueinander ergibt, die einem vorgegebenen Ziel in optimaler Weise entspricht, wurde in den letzten Jahren der Versuch unternommen, die mathematischen Verfahren der Transportoptimierung auch auf Informationsprobleme anzuwenden.³⁾

-
- 1) Vgl. Schmalenbach, Eugen: Über Dienststellengliederung in Großbetrieben, a.a.O., S. 55-56.
 - 2) So behauptet Kosiol: "Es ist nun kein Anhaltspunkt dafür ersichtlich, daß der Gutscharakter erst durch Ausgliederung auf eine spezialisierte Informationsunternehmung entsteht. Dann muß aber auch die nicht ausgegliederte Information ein Wirtschaftsgut darstellen. Kosiol, Erich: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum, Hamburg 1966, S. 172; ähnlich auch Müller, Max W.: Zeit, Kosten und Wertfaktoren der Informationserschließung. In: IBM-Nachrichten, Heft 149 (1961), S. 1349.
 - 3) Vgl. Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 96-108.

In dem "klassischen Transportproblem"¹⁾ ist die optimale Aufteilung der bei verschiedenen Versandorten vorhandenen Mengen a_i ($i=1, \dots, m$) eines gleichartigen Produktes auf mehrere Bestimmungsorte mit unterschiedlichen, aber fest vorgegebenen Nachfragemengen b_j ($j=1, \dots, n$) zu bestimmen. Der Transport einer Mengeneinheit von dem Ort i an j verursache Kosten in Höhe von k_{ij} . Werden x_{ij} Mengeneinheiten transportiert, dann betragen die mengenabhängigen Gesamttransportkosten K :

$$(1.4.1) \quad K = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n k_{ij} x_{ij} .$$

Für die Ermittlung der kostenminimalen Versandordnung sind die ganzzahligen und positiven Werte x_{ij} so zu bestimmen, daß K minimal wird unter den Nebenbedingungen:

-
- 1) Zu dem klassischen Transportproblem vgl. z.B.: Koopmans, T.C. und Stanley Reiter: A Model of Transportation. In: Activity Analysis of Production and Allocation, (Hersg. Koopmans, T.C.), Cowles Commission Monograph No. 13, New York 1951, S. 222-259; Dantzig, George B.: Application of the Simplex-Method to a Transportation Problem, ebenda, S. 359-373; derselbe: Lineare Programmierung und Erweiterungen. Deutsche Übersetzung von "Linear Programming and Extensions", Berlin-Heidelberg-New York 1966, S. 343-360; Hadley, George: Linear Programming, Reading (Mass.)-Palo Alto-London 1965, S. 273-330; Charney, S. und W.W. Cooper: The Stepping Stone Method of Explaining Linear Programming Calculations in Transportation Problems. In: MS, Vol. 1 (1954), S. 49-69; Ford, L.R. und D.R. Fulkerson: Solving the Transportation Problem. In: MS, Vol. 3 (1956), S. 24-32; Jandy, G.: Optimale Transport- und Verkehrsplanung. Anwendung der mathematischen Programmierung, Würzburg 1967, S. 103-128; Richter, Klaus-Jürgen: Transportökonomie, Ökonomisch-mathematische Modelle im Transportwesen, Leipzig (1967), S. 77-127; Kreko, Bela: Lehrbuch der linearen Optimierung, 2. Aufl., Berlin 1965, S. 82-114.

$$(1.4.2) \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad \text{und}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad \text{sowie}$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{für } i=1,2,\dots,m \\ j=1,2,\dots,n.$$

Diese Nebenbedingungen stellen sicher, daß die von allen i -Orten transportierte Menge höchstens gleich dem Bedarf des Empfängers j und die von dem Ort i versandte Menge höchstens gleich dem vorhandenen Vorrat ist.

Die spezielle Struktur der Transportprobleme zeigt sich besonders in der Bedingung:

$$(1.4.3) \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} = \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j,$$

d.h. es wird angenommen, der Gesamtvorrat stimme mit dem Gesamtbedarf aller Orte überein. Obwohl einzelne Lösungsalgorithmen von dieser Bedingung Gebrauch machen, ist die Ansicht abzulehnen, daß die Lösbarkeit von Transportproblemen von der tatsächlichen Übereinstimmung abhängt¹⁾. Vielmehr kann durch die Einführung fiktiver Versandorte im Fall

$$(1.4.4) \quad \sum_{i=1}^m a_i < \sum_{j=1}^n b_j$$

oder fiktiver Empfangsorte im Fall

1) Vgl. Joks, H.C.: Lineares Programmieren, Tübingen 1962, S. 12.

$$(1.4.5) \quad \sum_{i=1}^m a_i > \sum_{j=1}^r b_j$$

die Voraussetzung für die Anwendung der Transportmethoden geschaffen werden.

Während noch bei dem Spezialfall des "klassischen Transportproblems" die Homogenität der Güter - denn nur dann liegen optimierbare Austauschbedingungen vor - ebenso erforderlich war wie die Annahme, daß nur einstufige Verbindungen zulässig sind, wurde durch die Weiterentwicklung der Transportverfahren auch die Möglichkeit geschaffen, Transportprobleme in mehrstufigen Netzen¹⁾ und bei unterschiedlichen Güterarten²⁾ zu behandeln. Aber auch bei Mehrsortenproblemen muß vorausgesetzt werden, daß die einzelnen Gütersorten in sich homogen sind. Nur unter dieser Annahme ist die Anwendbarkeit der Optimierungsverfahren möglich, da sich dann die Transportkosten proportional zu der versandten Menge ändern und der Proportionalitätsannahme genügt wird.

Zur Lösung derartiger Optimierungsaufgaben wurden zahlreiche Verfahren entwickelt, die auf der Matrizenrechnung oder der Graphentheorie aufbauen. Sie benutzen die in der Gleichung (1.4.3) festgelegte Übereinstimmung von Gesamtvorrat und Bedarf.

-
- 1) Zu den mehrstufigen Transportproblemen vgl. z. B.: Orden, A.: The Transshipment - Problem. In: MS, Vol. 2 (1956), S. 276-285; Hadley, G.: Linear Programming, a.a.O., S. 368-374.
 - 2) Zu den Mehrsortenproblemen vgl. z.B.: Knödel, W.: Ein verallgemeinertes Transportproblem. In: UFO, Bd. 4 (1960), S. 1-12; Schmidt, K.: Zurückführung eines Sortenproblems auf das dreidimensionale Transportproblem. In: UFO, Bd. 10 (1966), S. 32-41.

Diese Bedingung macht das Gleichungssystem abhängig, da die Summe der ersten m -Gleichungen mit der Summe der letzten n -Gleichungen übereinstimmt. Ebenso folgt aus der Gleichheit von Gesamtbestand und -bedarf, daß nur $m+n-1$ Gleichungen voneinander linear unabhängig sind; also auch $m+n-1$ Variable durch dieses Gleichungssystem bestimmt werden können. Da nach dem Gleichungssystem (1.4.2) $m+n$ Gleichungen vorhanden sind, läßt sich zeigen, daß jede Gleichung eine Linearkombination der anderen $m+n-1$ Gleichungen mit der Folge ist, daß jede Gleichung als redundant angesehen und gestrichen werden kann.¹⁾

Die Lösungsverfahren beginnen alle mit der Auswahl einer zulässigen Basislösung, wobei eine Basislösung eine Lösung des Gleichungssystems aus $m+n-1$ Basisvariablen ist, die Werte größer als Null annehmen und mit den Restriktionen vereinbar sind. Durch anschließende Iterationen werden diese Variablen solange ausgetauscht, bis der optimale Zielwert erreicht ist. Die Zahl der bis zum Erreichen des Optimums notwendigen Iterationen hängt wesentlich von der gewählten Ausgangslösung ab. So führt beispielsweise eine Auswahl nach der Nord-West-Eckenregel²⁾, bei der die Belegung der Felder in der oberen linken Ecke der Transporttabelle beginnt und - unter Beachtung der Vorrats- und Nachfragebeschränkungen - bis zur unteren rechten Tabellenecke verläuft, erst wesentlich später zu einer optimalen Lösung als eine Ausgangslösung nach

-
- 1) Zum Beweis vgl. Dantzig, George B.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 344-346.
 - 2) Vgl. zur Nord-West-Eckenregel z.B. Richter, Klaus J.: Transportökonomie. Ökonomisch-mathematische Modelle im Transportwesen, a.a.O., S. 117; Dantzig, George B.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 346-355.

dem Verfahren "des doppelten Vorzugs", das die Bewertungsfaktoren berücksichtigt. ¹⁾ Nach diesem Verfahren werden zunächst diejenigen Felder belegt, die sowohl die minimalen Zeilen- als auch Spaltenelemente der Bewertungsmatrix sind.

Obwohl von der formalen Struktur her gesehen, die Problemstellung bei der Bestimmung einer kostenminimalen Versandortverteilung und die Ermittlung einer optimalen Zuordnung von Sendern und Empfängern in einem gegebenen einstufigen Kommunikationsnetz übereinstimmen, ergeben sich einige Bedenken gegen die Anwendbarkeit der Transportmethoden auf ökonomische Informationsprobleme. Da von einer bestimmten Entscheidungssituation ausgegangen wird, sind damit gleichzeitig die vorhandenen Sender und Empfänger und durch die Annahme eines gegebenen Informationsnetzes auch die bestehenden Verbindungen zwischen den Stellen festgelegt. Daher lassen sich Bedenken gegen die Anwendung der Transportverfahren nicht damit begründen, daß die Stationen eines Kommunikationsnetzes allgemein nicht von vornherein als Sender bzw. Empfänger klassifiziert werden können. ²⁾

Eine optimale Lösung des Transportproblems beantwortet die Frage, welche Mengeneinheiten eines homogenen Gutes von dem Ursprungsort i an den Bestimmungsort j transportiert werden, wenn der Versandplan optimal erfüllt werden soll. Nun leuchtet unmittelbar ein, daß in einem einstufigen Informationsnetz und bei nur einer Informationsart die Frage

1) Zum Verfahren des "doppelten Vorzugs" vgl. Richter, Klaus J.: Transportökonomie..., a.a.O., S.118-119.

2) Vgl. Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 99.

nach der Zahl der Informationen, die von dem Sender i an den Empfänger j übertragen werden soll, zu ökonomisch unsinnigen Ergebnissen führt. Vielmehr ist für die Erfüllung des Informationsplanes lediglich die kostenminimale Zuordnung von Sendern und Empfängern zu ermitteln. Bei einer Informationsart steht unmittelbar fest, daß an jeden Empfänger jeweils nur eine Information zu senden ist. Diese Überlegung führt zu dem Ergebnis, daß eine direkte Anwendung der Transportmethoden auf Informationsprobleme wegen der unterschiedlichen Fragestellung nicht möglich ist. Im Gegensatz zu den Transportproblemen ist die Übertragung gleichartiger Informationen an einen Empfänger sinnlos!

Im Gegensatz zu den Transportmodellen ist sicherzustellen, daß jedem Empfänger nur eine Information eines bestimmten Informationstyps zukommt. Dieser spezifischen Eigenschaft innerbetrieblicher Informationen wird durch die Beschränkung des Variationsbereiches der x_{ij} auf:

$$(1.4.6) \quad x_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{wenn Sender } i \text{ Empfänger } j \\ & \text{nicht informiert} \\ 1, & \text{wenn Sender } i \text{ Empfänger } j \\ & \text{informiert,} \end{cases}$$

Rechnung getragen. Daraus folgt ferner

$$(1.4.7) \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j = 1,$$

d.h. jeder Empfänger erhält nur eine Information einer bestimmten Art. Da gleichzeitig unterstellt wurde, daß die Gesamtnachfrage und der Gesamtvorrat übereinstimmen, hat die Einführung dieser Be-

dingung ebenfalls zur Folge, daß jeder Sender nur eine Information übertragen kann. Durch diese zusätzlichen Nebenbedingungen nimmt das Problem eine Form an, die in der Literatur unter dem Terminus "Personalanweisungsproblem" ¹⁾ geläufig ist.

Aus der Bedingung, jeder Empfänger j enthält nur eine Information, folgt, daß genau n -Basisvariable entsprechend der Zahl der vorhandenen Empfänger den Wert 1 annehmen. Hingegen wird für die Transportmethoden vorausgesetzt, daß $m+n-1$ Basisvariable einen positiven Wert annehmen müssen. ²⁾ Daraus

-
- 1) Zum Personalanweisungsproblem vgl. z.B.: Gass, Saul J.: Linear Programming, New York-Toronto-London 1958, S. 152-154; Garvin, Walter W.: Introduction to Linear Programming, New York-Toronto-London 1960, S. 115-116; Beckmann, Martin J.: Lineare Planungsrechnung, Ludwigshafen 1959, S. 71-76; Votaw, D.F. und A. Orden: The Personnel Assignment Problem. In: Symposium on Linear Inequalities and Programming (Hrsg.: Orden, A. und L. Goldstein), Washington 1952, S. 155-163; Ford, L.R. und D.R. Fulkerson: Solving the Transportation Problem, a.a.O., S. 24-32; King, William R.: A Stochastic Personnel Assignment-Model. In: OR, Vol. 13 (1965), S. 67-81; Weil, Roman L. jr.: Functional Selection for the Stochastic Assignment Model. In: OR, Vol. 15 (1967), S. 1063-1067; Ahrens, J.H. und G.K. Gaschütz: Einige Bemerkungen zum Ernennungsproblem. In: UFO, 8. Jg. (1964), S. 142-148; Wagner, Helmut: Die Bestimmungsfaktoren menschlicher Arbeitsleistung, Wiesbaden (1966), S. 60-74; Gutenberg, Erich: Unternehmensführung, Organisation und Entscheidung, a.a.O., S. 109; Marx, August: Die Personalplanung in der modernen Wettbewerbswirtschaft, Baden-Baden 1963, S. 121-130.
- 2) Vgl. Collatz, Lothar und Wolfgang Wetterling: Optimierungsaufgaben, Berlin-Heidelberg-New York 1966, S. 47.

folgt, daß das einem Ernennungsproblem äquivalente Transportproblem die Eigenschaft hat, daß jede Basislösung entartet ist. Zur Beseitigung der aus einer Entartung resultierenden Mehrdeutigkeit sind verschiedene Verfahren entwickelt worden, die ohne große Mehrarbeit bei der Berechnung der optimalen Lösung angewendet werden können¹⁾. Damit bleibt weiterhin die Möglichkeit bestehen, die Transportverfahren auf spezielle Informationsprobleme anzuwenden; zumal sich die Äquivalenz des Transport- und Personalanweisungsproblems beweisen läßt²⁾. Die Bedenken gegen die Anwendung der Transportverfahren zur Optimierung der Informationsübertragung sind nicht allein damit zu begründen, daß den spezifischen Eigenschaften der Informationen und ihrer Übertragung nicht Rechnung getragen werden kann.

Vielmehr ist fraglich, ob die Voraussetzungen erfüllt sind, um ökonomische Informationsprobleme durch ein System linearer Gleichungen und Ungleichungen zu beschreiben und mit den linearen Programmierungsverfahren und insbesondere den Transportverfahren eine optimale Lösung zu bestimmen. Zu den grundlegenden Voraussetzungen zählt zunächst die quantitative Erfassung aller relevanten Zusammenhänge und die Möglichkeit, diese Zusammenhänge in mathematisch-funktionalen Beziehungen auszudrücken. Wird im Rahmen der linearen Programmierung das Planungsmodell als ein System elementarer Funktionen (Aktivitäten) erklärt, dann ist die Forderung nach einer proportionalen Veränderung des Ak-

1) Vgl. Dantzig, George B.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 351-353; Richter, Klaus J.: Transportökonomie, a.a.O., S. 127-139.

2) Vgl. Dantzig, George B.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 364-366.

tivitätsgrades als Folge einer Inputvariation einzuhalten. Aus dieser Proportionalitätsannahme erklärt sich die Linearität der Zielfunktion und der Nebenbedingungen. Eine lineare Zielfunktion liegt bei Transportmodellen aber nur dann vor, wenn sich die Kosten von i nach j proportional zu der versandten Menge x_{ij} ändern und sich die Gesamttransportkosten additiv aus den Kosten des Gütertransportes auf den einzelnen Wegen zusammensetzen. Sofern die Kosten für jede Mengeneinheit konstant und unabhängig von den Transporten auf allen übrigen Wegen sind, ist die Annahme der Proportionalität und Additivität erfüllt. Ferner ist die Nichtnegativität und Ganzzahligkeit der Basisvariablen zu beachten¹⁾.

Die Voraussetzung der Additivität wird vor allem deutlich, wenn abweichend von dem hier angeführten Spezialfall, daß jeder Sender nur eine Information in der verfügbaren Zeit übertragen kann, angenommen wird, daß die einzelnen Sender in der Lage sind, mehrere Empfänger zu informieren. In diesem Fall ist fraglich, ob der Sender den Informationsinhalt an die unterschiedlichen Empfänger jeweils in einer konstanten Zeichenmenge und Zeichenfolge überträgt. Nur wenn die Zeichenmenge unabhängig von der Zahl der vorhergehenden Übertragungen und dem Wissensstand der Kommunikationspartner ist, können die Kosten der Informationsübertragung für einen Sender additiv aus den Kosten für die einzelnen Informationsvorgänge errechnet werden. Mit der Zahl der Informationsübertragungen wird die Zeichenmenge immer dann abnehmen, wenn Lerneffekte auftreten

1) Vgl. Dantzig, George B.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 38-40.

oder anfängliche Redundanzen beseitigt werden. Nur wenn der Informationsinhalt von vornherein mit der geringsten Zeichenzahl wiedergegeben wird, ist die geforderte Konstanz gegeben, und die einzelnen Informationsvorgänge sind unabhängig voneinander. Da häufig ein Variationsspielraum für die Formulierung des Informationsinhaltes besteht, kann mit zunehmender Häufigkeit der Übertragungsvorgänge die Zeichenzahl abnehmen. Beeinflußt die Zeichenmenge die Übertragungskosten, so sind die Kosten der einzelnen Informationsvorgänge nicht mehr unabhängig voneinander. Die Zahl der vorhergehenden Übertragungen und die Reihenfolge der Informationsvorgänge sind zusätzlich zu berücksichtigen. Daraus folgt ferner, daß der Voraussetzung der Additivität nicht entsprochen wird.

Geht man von einem gegebenen Informationsbedarf aller Empfänger aus, dann hängt die Zahl der Informationsvorgänge, die ein Sender auszuführen hat, ebenfalls von den übrigen Sendern ab. Damit wird die Kostendegression, die aus der Zahl der Wiederholungen resultiert, auch die Übertragungen beeinflussen, die von den anderen Sendern ausgeführt werden. Wegen dieses interdependenten Zusammenhanges sind die Kosten für die Information eines Empfängers nicht mehr unabhängig von den anderen Übertragungsvorgängen.

Abschließend und zusammenfassend ist festzuhalten: Obwohl zwischen der Bestimmung eines optimalen Transportplanes und der Ermittlung der optimalen Informationsversorgung im Hinblick auf die Frage-

stellung eine Ähnlichkeit besteht¹⁾, ist eine Anwendung der Transportverfahren auf Informationsprobleme bis auf einige Ausnahmen abzulehnen. Diese Ablehnung ist nicht damit zu begründen, daß den speziellen Eigenschaften der Informationen nicht genügend Rechnung getragen wird, sondern daß die notwendigen Voraussetzungen für die Anwendung dieser Optimierungsverfahren bei Informationsvorgängen nicht gegeben sind.

1) Vgl. Kalaba, Robert E. und M.L. Juncosa: Optimal Design of Communication Networks. In: MS, Vol. 3 (1956/57), S. 36; Bellman, Richard: Notes on the Theory of Dynamic Programming - Transportation Models. In: MS, Vol. 4 (1958), S. 194; Richter, Klaus-Jürgen: Methoden der linearen Optimierung. Leipzig 1967, S. 115; derselbe: Transportökonomie, Berlin (1965), S. 228.

b. Die Leistungsfähigkeit von linearer und dynamischer Programmierung bei der Ermittlung einer wirtschaftlich optimalen Informationsversorgung

Aus dem dargestellten Beispiel und der Grundkonzeption der dynamischen Programmierung wird deutlich, daß die dynamische Programmierung im Gegensatz zu der linearen Programmierung eine Bestimmung optimaler Informationsübertragungen auch dann erlaubt, wenn keine linearen oder stetigen Kostenfunktionen vorliegen. Sie ist schon dann anwendbar, wenn nur diskrete Kostenpunkte bzw. tabellarische Kostenaufzeichnungen vorhanden sind. Vor allem bei der Berücksichtigung von Lernprozessen ist die Eigenschaft der dynamischen Programmierung von großem Vorteil, daß ihre Anwendung nicht an lineare Funktionen gebunden ist. Wie später zu zeigen sein wird, steht der Bestimmung einer optimalen Informationsübertragung auch nicht entgegen, daß die Variablen Zufallsschwankungen unterliegen.

Grundsätzlich muß jedoch vorausgesetzt werden, daß sich das anstehende Problem in eine Entscheidungssequenz zerlegen läßt. Dabei ist gleichgültig, ob tatsächlich ein mehrstufiges Entscheidungsproblem vorliegt oder nur eine gedankliche Zerlegung des Problems in eine Folge von Einzelentscheidungen mit jeweils nur einer Variablen gegeben ist.¹⁾ Einschränkung ist jedoch festzuhalten, daß zwar grundsätzlich alle mehrstufigen Probleme in einer der dynamischen Programmierung entsprechenden Weise zu formulieren sind, jedoch bei großen Abhängigkeiten der Variablen untereinander und einer großen

1) Vgl. Dreyfus, Stuart E.: Dynamic Programming, a.d.O., S. 214-215; Roberts, S.M.: Dynamic Programming in Chemical Engineering Control, New York-London 1964, S. 229-230.

Zahl zu berücksichtigender Variablen eine praktische Lösung nicht mehr möglich ist.

Dieser Einwand trifft jedoch in gleicher Weise auf die lineare Programmierung zu, deren Anwendung auch durch die Kapazität der eingesetzten Rechenanlagen beschränkt wird. Dennoch ergeben sich bei der dynamischen Programmierung Bedenken wegen der progressiv anwachsenden Zahl zu berücksichtigender Kombinationen der Zustandsvariablen. Besteht der Zustandsvektor beispielsweise aus m Elementen, von denen jedes n Werte annehmen kann, dann sind n^m Punkte des Zustandsraumes in die Betrachtung einzuführen.¹⁾ Hingegen liegt nach einer Faustregel bei der linearen Programmierung die Zahl der notwendigen Iterationen N zwischen

$$(1.4.7) \quad 1,5 \cdot m \leq N \leq 2 \cdot m,$$

wobei m die Zahl der Restriktionen angibt.²⁾ Allerdings sind diese Zahlen nicht direkt vergleichbar, da ein Bezug einerseits auf die Zahl der Rechenoperationen und zum anderen auf die Zahl der Iterationen zu falschen Ergebnissen führen muß. Erst, wenn auch auf die Zahl der Rechenoperationen innerhalb einer Iteration zusätzlich abgestellt wird, sind die Größen vergleichbar.

Aus diesen Überlegungen zeigt sich jedoch ein anderes interessantes Ergebnis. Während bei der linearen Programmierung die Zahl der Iterationen mit

1) Vgl. Howard, Ronald N.: Dynamic Programming, a.a.O., S. 347.

2) Vgl. Arnoff, Leonard R. und Sankar S. Sengupta: Mathematical Programming. In: Progress in Operations Research, Vol. I (Hrsg. Russel L. Ackoff). New York-London-Sydney 1966, S. 130; Saaty, Thomas L.: The Number of Vertices of a Polyhedron. In: Amer. Math. Monthly, Vol. 62 (1955), S. 326-331.

jeder zusätzlichen Nebenbedingung zunimmt, kann dies bei der dynamischen Programmierung in umgekehrter Weise wirken. Durch die Berücksichtigung zusätzlicher Nebenbedingungen wird der Variationsbereich der Variablen (Zustandsvariablen) eingeschränkt und die Zahl der durchzuführenden Rechenoperationen herabgesetzt. Diese Tatsache ist von besonderer Bedeutung für ökonomische Informationsprobleme, da ihren speziellen Eigenschaften nur durch eine Vielzahl von Nebenbedingungen Rechnung getragen werden kann.

So verhindert die Bedingung $x_{ij} = x_{ij}^2$, durch die sichergestellt wird, daß jeder Informationsempfänger nur eine Information eines Typs erhält, eine direkte Anwendung der linearen Programmierungsvorgehen; hingegen wirkt gerade diese Bedingung bei der dynamischen Programmierung auf eine Verminderung des Rechenaufwandes. Dies gilt ebenso für die Forderung, daß die Variablen nur ganzzahlige Werte annehmen können.

Vor allem wird durch die dynamische Programmierung eine Möglichkeit geschaffen, auch Nebenbedingungen der Form

$$(1.4.8) \quad x_i \cdot x_{i+1} = 0 \quad \text{für } i=1,2,\dots$$

zu berücksichtigen.¹⁾ Durch diese Bedingung kommt zum Ausdruck, daß die Anwendung einer Aktivität die einer anderen ausschließt. Dieser Sachverhalt läßt sich an zahlreichen Beispielen aus dem Bereich der Informationsübertragung nachweisen. Denkt man nur an die Informationen des internen betrieblichen Überwachungssystems, an Bilanzzahlen oder

1) Vgl. Bellman, Richard: Combinatorial Processes and Dynamic Programming, a.a.O., S.217-220.

Kontrollinformationen, die alle einer gewissen Geheimhaltung unterliegen. Ebenso trifft dieser Sachverhalt auf die Informationsübertragungen zu, wenn ein Informationsprozeß einen anderen ausschließt. Insbesondere ist diese Nebenbedingung ein Kennzeichen der mündlichen Informationsweitergabe.

Wenn nun aber die dynamische Programmierung eine Optimierung komplexer Probleme auch dann zuläßt, wenn keine linearen oder stetigen Funktionen vorliegen, läßt sich die Behauptung, mathematisch-analytische Verfahren seien wegen der fehlenden funktionalen Zusammenhänge nicht auf ökonomische Informationsprobleme anwendbar, nicht mehr aufrechterhalten.¹⁾

Auch der Ansicht, mit einem Modell - wie es dieser Analyse zugrunde liegt - werde nur der Bestimmungsgröße Informationswege Rechnung getragen²⁾, kann nicht zugestimmt werden. Zwar steht in der Tat die Auswahl von Informationswegen oder, was in diesem Fall mit der Fragestellung übereinstimmt, der Zuordnung von Sendern zu bestimmten Empfängern im Vordergrund. Darüberhinaus werden jedoch simultan Sende- und Empfangskapazitäten berücksichtigt. Weiterhin lassen sich bestimmte organisatorische Maßnahmen ohne Schwierigkeit in dieses Modell einfügen. Ist beispielsweise aus organisatorischen Gründen eine bestimmte Zuordnung fest vorgegeben, erlaubt dieses Modell eine Aussage darüber, welche Veränderungen des Zielwertes sich aus dieser Forderung ergeben und welche zusätzlichen Kosten durch diese Forderung im Hinblick auf die Informationsübertragung anfallen.

1) Albach, Horst: Zur Theorie der Unternehmensorganisation, a.a.O., S. 250.

2) Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 90-99.

In ähnlicher Weise kann die dynamische Programmierung zur Bestimmung der minimalen Übertragungszeit in einem einstufigen Kommunikationsnetz herangezogen werden. Wenn die Übertragungszeit als Optimalitätskriterium gewählt wird, sind die Bewertungsfaktoren (k_{ij}) des vorher behandelten Modelles als Übertragungszeiten zu interpretieren, die mit den Informationsvorgängen zwischen den Sendern O_i und den Empfängern O_j verbunden sind. Die optimale Lösung enthält dann die Zuordnung von Sendern und Empfängern, die eine Übertragung der von den Entscheidungsträgern nachgefragten Informationen in minimaler Zeit erlaubt. Selbst wenn bei persönlicher Informationsübermittlung der Sender an die Empfänger eine Übertragung auf den kürzesten Wegen angestrebt wird, ändert sich die grundsätzliche Lösungskonzeption nicht.

II. Möglichkeiten und Grenzen der Beurteilung organisatorischer Gestaltungsmaßnahmen

An diesen Beispielen wurde gezeigt, wie ein gegebener Informationsplan, der eine oder mehrere Informationsarten enthält, optimal ausgeführt werden kann. Ferner wurden Kapazitätsbeschränkungen berücksichtigt und von unterschiedlich zusammengesetzten Informationsbeständen der Sender und der Informationsnachfrage ausgegangen. Weiter läßt sich ohne Schwierigkeiten zeigen, wie dieses Modell auch bei anderen Optimierungskriterien, die sich aus dem Zusammenhang von Informations- und Entscheidungsprozessen ergeben, Anwendung finden kann.

Während bisher nur mögliche Aussagen in bezug auf die Informationsübertragung aus diesem Modell abgeleitet wurden, ergeben sich weiterhin verschiedene Aspekte für den Aufbau des Kommunikationsnetzes selbst. Damit sind alle organisatorischen Maßnahmen gemeint, die einen Einfluß auf die Bedingungen der Informationsübertragung ausüben können.

a. Die Beeinflussung der Kommunikationsstruktur als Bedingung der Informationsübertragung

Während der Informationsbedarf der Empfänger als Datum eine unbeeinflussbare Bedingung bei der Organisation der Informationsübertragung darstellt, können organisatorische Strukturmaßnahmen auf die in gewissem Spielraum variablen Bedingungen einwirken. Zu diesen beeinflussbaren Bedingungen können die Zahl der Kommunikationswege, die technischen Hilfsmittel der Informationsübertragung

oder die Kommunikationsform gezählt werden. 1)

Wie an dem Grundmodell und den Erweiterungen gezeigt wurde, lassen sich die Veränderungen des Informationsnetzes durch den Ausbau einzelner Kapazitäten an der Variation der Kosten beurteilen, die einer optimalen Zuordnung entsprechen. Durch weitere Rechenschritte hätte ebenfalls ermittelt werden können, bei welchem Sender die Kapazität in welchem Ausmaß zu erweitern ist, damit die größte Kostensenkung eintritt.

In gleicher Weise können organisatorische Maßnahmen unter ökonomischen Gesichtspunkten beurteilt werden, die zusätzliche Informationswege schaffen oder einzelne Informationsverbindungen beseitigen. Vor allem ist die dynamische Programmierung als Optimierungsverfahren auch aus dem Grund für Informationsprobleme geeignet, da auf jeder Stufe für alle möglichen Zustände die optimalen Restprozesse berechnet werden. Ist nun beispielsweise eine optimale Zuordnung ermittelt, dann können die auf organisatorischer Strukturmaßnahmen beruhenden Zustandsänderungen unmittelbar berücksichtigt werden.

Zur Beurteilung organisatorischer Maßnahmen wurden in der Literatur zahlreiche Strukturparameter, 2)

1) Vgl. Berthel, Jürgen: Zur Organisation der Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 421-426; auch Heinen, Edmund: Die Zielfunktion der Unternehmung. In: Zur Theorie der Unternehmung. Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg, (herg. von Helmut Koch), Wiesbaden 1962, S. 62.

2) Zu diesen Strukturen vgl. z.B. Guetzkow, H. und H.A. Simon: The Impact of Certain Communication Nets upon Organization and Performance in Task-Oriented Groups. In: MS, Vol. 1 (1954), S. 233-250.

die spezifische topologische Eigenschaften ganzer Kommunikationsstrukturen bzw. einzelner Netzpunkte kennzeichnen, entwickelt. Da diese Strukturparameter auf den vorhandenen Informationsverbindungen, ohne diese zu gewichten, aufbauen, können sie lediglich Auskunft über die Veränderung der Lage der einzelnen Organisationseinheiten innerhalb des Gesamtnetzes und zu anderen Organisationseinheiten angeben, die durch Strukturmaßnahmen eintreten. Da sie ferner nur die Informationsverbindungen als Einflußgrößen berücksichtigen, sind sie nicht in der Lage ökonomische Überlegungen bei der Gestaltung von Kommunikationssystemen zu unterstützen.¹⁾

Allerdings muß betont werden, daß für die Struktur von Kommunikationsnetzen neben den Kosten noch weitere nicht oder noch nicht faßbare Einflußgrößen zu berücksichtigen sind. Dabei ist nicht nur an die Wirksamkeit²⁾ von Kommunikationsnetzen zu denken, die vor allem von der sozialpsychologischen Forschung untersucht wird, sondern ebenso an die Sicherheit der Informationsübertragung.

1) Vgl. Bierfelder, Wilhelm H.: Optimales Informationsverhalten im Entscheidungsprozeß der Unternehmung, a.a.O., S. 71-72.

2) Zu den experimentellen Untersuchungen von Kommunikationsstrukturen vgl.: Clark, D.F. und R.L. Ackoff: A Report on Some Organizational Experiments. In: OR, Vol. 7 (1959), S. 288-293; Christie, L.S.: Organization and Information Handling in Task Groups. In: OR, Vol. 2 (1954), S. 188-196; Gilchrist, J.C., M.E. Shaw und L.C. Walker: Some Effects of Unequal Distribution of Information in a Wheel Group Structure. In: Journal of Abnormal and Social Psychology, Vol. 49 (1954), S. 554-556; Guetzkow, H. und A.E. Bowes: The Development of Organizations in a Laboratory. In: MS, Vol. 3 (1956/57), S. 380-400.

b. Zentralisation oder Dezentralisation von Informationsaufgaben - ein Versuch zur Bestimmung des optimalen Dezentralisationsgrades

In der Organisationsliteratur ist die Frage einer verantwortungsmäßigen Zentralisation und Dezentralisation ausgiebig diskutiert worden,¹⁾ wobei immer wieder der Versuch unternommen wurde, einen optimalen Dezentralisationsgrad zu bestimmen. Hingegen hat sich durch die Entwicklung der Datenverarbeitung in Verbindung mit den Verfahren der Unternehmensforschung eine Tendenz zur Zentralisation durchgesetzt.²⁾

Diese organisatorische Gestaltung des Kompetenzsystems wirkt auf die Strukturierung des Kommunikationssystems. Die Frage nach einer dezentralen

-
- 1) Acker, Heinrich: Die organisatorische Stellengliederung im Betrieb, a.a.O., S. 122-144; Bleicher, Knut: Zentralisation und Dezentralisation von Aufgaben in der Organisation der Unternehmung, Berlin (1966), S. 240-246; derselbe: Zur Zentralisation und Dezentralisation der Entscheidungsprozesse in der Unternehmensorganisation. In: Organisation und Rechnungswesen; Festschrift für Erich Kosiol (Hersg.: E. Grochla), Berlin (1964), S. 267; Illetschko, Leopold L.: Zentralisation und Dezentralisation. In: Organisation, TfB-Handbuchreihe Bd. 1 (Hersg.: Schnauffer, Erich und Klaus Agthe), Berlin-Baden-Baden 1961, S. 167-196; Böhrs, Hermann: Organisation des Industriebetriebes, Wiesbaden (1963), S. 122-127; Wild, Jürgen: Neuere Organisationsforschung in betriebswirtschaftlicher Sicht. Internationale Forschungsansätze und -ergebnisse zur formalen Problematik der Aufbauorganisation. Berlin (1967), S. 61-81; Pfiffner, J.M. und F.P. Sherwood: Administrative Organization, Englewood Cliffs (N.J.) 1960, S. 395-400; March, James G. und Herbert A. Simon: Organizations, New York 1958, S. 54; Scott, William G.: Organization Theory. A Behavioral Analysis for Management, Homewood (Ill.) 1967, S. 100-119.
- 2) Vgl. Poensgen, O.H.: Zentralisation und Dezentralisation im Lichte dreier moderner Entwicklungen. In: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 373-394.

oder zentralen Kommunikationsstruktur stellt sich in zwei unterschiedlichen Formen. Einmal ist in bezug auf die Verteilung der Informationsfunktionen zu entscheiden, welche Organisationseinheiten in den Übertragungsprozeß eingeschaltet werden. In diesem Fall wäre eine strenge Zentralisation dann gegeben, wenn nur eine zentrale Informationsstelle die erforderlichen Informationsübertragungen ausführt. Je mehr eine Aufteilung der Informationsaufgaben auf die einzelnen Aufgabenträger erfolgt, um so dezentraler ist das Informationssystem organisiert. Für einen gegebenen und durch die Entscheidungssituation bestimmten Informationsbedarf ist die zentrale oder dezentrale Verteilung von Informationsaufgaben zu wählen, die optimal im Hinblick auf die Erfordernisse des Entscheidungsprozesses bzw. der Übertragungskosten ist.

In enger Anlehnung an die Interpretation der Dezentralisation, als die Verteilung von Entscheidungsbefugnissen auf mehrere Entscheidungsträger, liegt nach Marschak, Radner und auch McGuire ein dezentrales Informationssystem dann vor¹⁾, wenn auf einen unmittelbaren Informationsaustausch aller Entscheidungsträger verzichtet wird. Zentrale Informationsstrukturen liegen dann vor, wenn jeweils alle Informationen bei einer oder mehreren Stellen zusammenlaufen. In diesem Sinn ist auch die Behauptung Albachs zu interpretieren: "Die

1) Vgl. Marschak, Thomas: Centralization and Decentralization in Economic Organisations. In: *Econometrica*, Vol. 27 (1959), S. 399-430; Marschak, Jacob: Elements for a Theory of Teams, a.a.O., S. 127-137; derselbe: Efficient and Viable Organizational Forms. In: *Modern Organization Theory. A Symposium of the Foundation for Research on Human Behavior*, (Hrsg. von Mason Haire), New York-Sydney-London (1965), S. 307-320; Radner, R.: The Application of Linear Programming to Team Decision Problems, a.a.O., S. 143-150; McGuire, C.B.: Some Team Models of a Sales Organization. In: *MS*, Vol. 7 (1960/61), S. 101-130.

Organisationsform muß vielmehr umso stärker dezentral sein, je höher die Kosten der Kommunikation im Unternehmen sind, und sie muß umso stärker zentral sein, je höher die Unsicherheit in der Umwelt ist, der sich das Unternehmen gegenüber sieht." ¹⁾ Darüber hinaus wird bei dieser Einteilung der Sachverhalt berührt, in welchem Umfang die einzelnen Entscheidungsträger überhaupt mit Informationen anderer Organisationseinheiten zu versorgen sind. Da diese Frage nur dann behandelt werden kann, wenn nicht nur Organisations- und Kostenaspekte berücksichtigt werden, sondern vor allem die Wirkung der unterschiedlichen Informationsstrukturen auf das Ergebnis der Entscheidungen, die aus der Betrachtung ausgeschlossen werden, steht im Vordergrund der Frage nach der Zentralisation oder Dezentralisation im Informationswesen die Verteilung der Informationsaufgaben auf die einzelnen Organisationseinheiten.

Die Bedeutung dieser Verteilung zeigt sich einmal in der Belastung der Organisationsstellen mit Informationsaufgaben neben den primären Arbeitsaufgaben und zum anderen in den unterschiedlichen Übertragungskosten in Abhängigkeit von dieser Verteilung. Ferner wird durch die Verteilung die Zahl und notwendige Richtung der Informationsvorgänge festgelegt, die für das Treffen bestimmter Entscheidungen notwendig sind. Für die Verteilung ist vor allem zu beachten, daß bei einzelnen Kommunikationsformen eine simultane Informationsübertragung an mehrere Empfänger ausgeschlossen wird. Bei telefonischer Übermittlung einer Information können die einzelnen Empfänger nur sukzessiv nach-

1) Albach, Horst: Betriebswirtschaftslehre heute - Zusammenwirken von Theorie und Praxis. In: ZfbF, 19. Jg. (1967), S. 461.

einander ermittelt werden. Die Übertragung blockiert den Informationsweg und verhindert gleichzeitige Informationsübertragung von und an die Informationsstellen durch andere Organisationseinheiten.

Fischer ¹⁾ und Coenenberg ²⁾ haben die Zahl und Richtung von Informationsvorgängen für ein Modell bestimmt, in dem jede Organisationseinheit über eine andere Information verfügt, die von den Entscheidungsträgern benötigt wird. Die Verteilung der Informationsaufgaben wird anhand eines von Ross und Harary entwickelten Verfahrens bestimmt, das auf der Multiplikation von Matrizen basiert. ³⁾ Die Kommunikationsmatrix (K) zeigt die erforderlichen Informationsvorgänge. Sie ergibt sich aus dem Produkt der Bestandsmatrix (B) mit der Nachfragematrix (N) und der Matrix (E), die die Verteilung der Entscheidung auf die Organisationseinheiten angibt.

Da in diesem Modell weder unterschiedliche Informationskosten noch Kapazitätsbeschränkungen ausreichend berücksichtigt werden und da wegen der speziellen Zusammensetzung des Informationsbedarfs keine Austauschbeziehungen vorliegen, ist dieses

-
- 1) Vgl. Fischer, Hardt: Information und Kommunikation. In: Industrielle Organisation, 28.Jg. (1959) S. 163-164; derselbe: Gruppenstruktur und Gruppenleistung; Bern-Stuttgart 1962, S. 49
 - 2) Vgl. Coenenberg, Adolf G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 97-98 und S. 121-123.
 - 3) Harary, Frank: Graph Theoretic Methods in Management Science. In: MS, Vol. 5 (1959), S. 387-403; Ross, Jan C. - Harary, Frank: Identification of the Liaison Persons of an Organization Using the Structure Matrix. In: MS Vol. 1/2 (1955/56), S. 251-258.

Modell zu erweitern. Im folgenden werden fünf Organisationseinheiten betrachtet, die über einen unterschiedlichen Informationsbestand verfügen:

Sender \ Art				
	1	2	3	4
O_1	0	0	1	1
O_2	1	0	0	1
O_3	0	1	1	1
O_4	1	0	1	0
O_5	1	1	0	0

= B

Von den Stellen O_1 und O_5 seien nun Entscheidungen zu treffen, welche die Kenntnis aller in dieser Gruppe vorhandenen Informationen voraussetzen. Aufgrund des gegebenen Informationsbestandes sind Informationsvorgänge zu bestimmen, durch die mit minimalen Kosten die Informationsnachfrage erfüllt wird. Die Kosten der Informationsübertragungen entsprechen dem in Matrix (k_{ij}) wiedergegebenen Schema:

$O_i \backslash O_j$				
	O_1	O_2	O_3	O_4
O_1	∞	∞	8	5
O_2	4	∞	∞	3
O_3	∞	5	2	1
O_4	3	∞	3	∞
O_5	6	4	∞	∞

= (k_{ij})

In dieser Kostenübersicht wurden die Entscheidungsträger O_1 und O_5 jeweils in zwei fiktive Empfänger O_1 und O_2 bzw. in O_3 und O_4 unterteilt, damit der Nebenbedingung des Grundmodells, an jeden wird nur eine Information übertragen, entsprochen wird. Neben den Übertragungskosten gibt die Kostenmatrix an, welche Informationsverbindungen existieren.

Die zentrale oder dezentrale Verteilung der Informationsvorgänge bedeutet in diesem Zusammenhang, wie und in welchem Umfang die in dem Kommunikationsnetz zusammengeschlossenen Informationsstellen in die Informationsübermittlung eingeschaltet werden. Bei dezentraler Organisation, wie sie in den Beispielen von Coenenberg und Fischer vorliegt, werden die einzelnen Organisationseinheiten jeweils nur mit einer Informationsaufgabe im Rahmen des Übertragungsprozesses betraut, sofern die Zahl der nachgefragten Informationen mit der Zahl zulässiger Sender übereinstimmt. Da in dem hier beschriebenen Modell die Zahl der vorhandenen Sender größer als die gesamte Informationsnachfrage der Empfänger ist, wird bei maximal möglicher Dezentralisation auch eine Entscheidung darüber notwendig, welche Organisationseinheiten von Informationsaufgaben befreit werden. Bei gegebener Informationsnachfrage und unter der Voraussetzung, daß bei diesem Dezentralisationsgrad immer vier Organisationseinheiten an der Übertragung beteiligt werden, sind die optimalen Zuordnungen für alle möglichen Ausgangszustände aus der genannten Beziehung (1.2.11) zu berechnen. Diese Zustände entsprechen jeweils den Kombinationen von je vier Organisationseinheiten, die aufgrund ihres Informationsbestandes in der Lage sind, gemeinsam die Informationsnachfrage zu erfüllen. Die Zusammenfassung der Ergebnisse für die vorher angegebenen Zahlenwerte und alle zulässigen Zustände ist in dem anschließenden Schema enthalten :

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$	$K_1(x_1, x_2, \dots, x_5)$	O_i
$(1, 1, 1, 0, 1)$	15	O_1
$(1, 0, 1, 1, 1)$	14	O_1
$(1, 1, 1, 1, 0)$	13	O_2
$(1, 1, 0, 1, 1)$	18	O_2
$(0, 1, 1, 1, 1)$	12	O_2/O_3

Diese Übersicht zeigt, daß die kostenminimale Verteilung unter den gegebenen Annahmen dann erreicht wird, wenn nur O_2 , O_3 , O_4 und O_5 je eine Information übertragen, wobei die Kosten in Höhe von 12 nur erreicht werden wenn

Sender	Informationsart	an Empfänger
O_2 oder O_3	4	O_5
O_3 oder O_4	3	O_5
O_4 oder O_2	1	O_1
O_5	2	O_1

überträgt. Gleichzeitig können aus dieser Übersicht die Kostenänderungen abgelesen werden, wenn nicht O_1 , sondern eine andere Stelle von der Übertragung ausgeschlossen wird. Da in diesem Fall jeder Sender nur eine Informationsart übermittelt, ist damit gleichzeitig die optimale Spezialisierung ermittelt. Dieses Ergebnis stützt die These eines

engen Zusammenhanges zwischen Dezentralisierung und der Ausnutzung von Spezialkenntnissen und Fähigkeiten. Eine weitgehende Dezentralisation weist ebenso den Vorteil auf, daß die Belastung der einzelnen Organisationsstellen klein gehalten und gleichmäßig auf alle beteiligten Stellen verteilt wird; bezogen auf die gesamte Gruppe ist die Belastung jedoch konstant und unabhängig davon, welche Verteilung gewählt wird.

Untersuchen wir nunmehr, welche Folgen sich aus einer Verringerung des Dezentralisationsgrades ergeben. Eine Abschwächung der Dezentralisation kann beispielsweise aus der Berücksichtigung weiterer betrieblicher Beziehungszusammenhänge resultieren. Eine verminderte Dezentralisierung äußert sich darin, daß weniger Organisationseinheiten an der Informationsübertragung beteiligt werden. Dazu ist eine Änderung der Nebenbedingungen notwendig. Wenn der gesamte Informationsbedarf von weniger als vier Organisationseinheiten zu befriedigen ist, dann muß die Übertragung von zwei Informationsarten durch einen Sender zugelassen werden. Für optimale Verteilung der Informationsaufgaben auf drei Organisationseinheiten ist $K_4(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$ für alle Zustände zu berechnen, die mit den Nebenbedingungen:

$$(1.5.1) \quad \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^4 x_{ij} = 4$$

$$x_{ij} = x_{ij}^2$$

$$\sum_{j=1}^4 x_{ij} = a_i$$

vereinbar sind. Die minimalen Kosten unter der Voraussetzung, daß die einzelnen Organisationseinheiten nacheinander je zwei Informationsarten übertragen, sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt:

$(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$	$K_4(x_1, x_2, \dots, x_5)$
$(2, 0, 1, 1, 0)$	15
$(0, 2, 1, 1, 0)$	14
$(0, 0, 2, 1, 1)$	10
$(0, 0, 1, 2, 1)$	11
$(0, 1, 1, 0, 2)$	15

Hat der Sender O_1 zwei Informationsarten zu übertragen, dann führt die Kombination von O_1 mit zwei beliebigen anderen Stellen nur dann zu minimalen Kosten in Höhe von $K_4(2, 0, 1, 1, 0) = 15$, wenn neben O_1 die Stellen O_3 und O_5 als Sender an dem Übertragungsprozeß beteiligt werden. Betrachtet man alle zulässigen Zustände, dann ergibt die kostenminimale Verteilung Kosten in Höhe von $K_4(0, 0, 2, 1, 1) = 10$, wenn die Entscheidungspolitik

Sender	Informationsart	Empfänger
O_3	4	O_5
O_3	3	O_5
O_5	2	O_1
O_4	1	O_1

festgelegt wird. Bei den gegebenen Zahlenwerten dieses Modelles zeigt sich, daß eine Einschränkung der Dezentralisation der Aufgabenverteilung zu einer Kostensenkung bei der Informationsübertragung führt.

Im Gegensatz zu dem vorhergehenden Modell wird der Organisationseinheit O_2 keine Informationsfunktion übertragen. Diese Informationsaufgabe übernimmt die Stelle O_3 . Die eingetretene Kostensenkung findet ihre Ursache darin, daß gerade diese Stelle für die Übertragung der Informationsarten 3 und 4 am geeignetsten ist; diese Eignung aber bei einer zu weitgehenden Dezentralisation nicht zum Tragen kommt.

Zur Beurteilung einer noch stärkeren Abschwächung der Dezentralisation oder einer entsprechenden Erhöhung der Zentralisation der Informationsübertragung auf zwei Organisationsstellen wäre die kostenminimale Verteilung der Informationstätigkeiten aus allen Kombinationen aus zwei Stellen zu betrachten, von denen eine insgesamt drei oder beide Stellen je zwei Informationseinheiten zu übertragen hätten. Wie aus der Kostenübersicht für dieses Modell hervorgeht, sind nur die Organisationseinheit O_3 oder die Stellen O_1 und O_5 aufgrund ihres Informationsbestandes zusammen in der Lage, diese Forderung zu erfüllen. Die minimalen Kosten betragen:

$$(1.5.2) \quad K_4(0,0,3,1,0) = 11 \text{ .}$$

Durch eine weitere Zentralisation tritt keine Kostensenkung mehr ein.

Damit wurde für ein Mehrsortenmodell nachgewiesen, daß die Übertragungskosten bei durch die Entscheidungen qualitativ und quantitativ festgelegten Informationsaufgaben von dem Grad der Dezentralisation abhängen. Der Grad der Dezentralisation wurde durch die Menge der Informationsstellen ausgedrückt, die an der Übertragung der erforderlichen Informa-

tionsarten beteiligt sind. Aus der Berechnung der minimalen Informationskosten für alternative Aufgabenverteilungen hat sich gezeigt, daß für dieses Problem ein optimaler Dezentralisierungsgrad existiert, der bei der Ausführung der Informationsübertragung durch drei Organisationseinheiten erreicht wird.

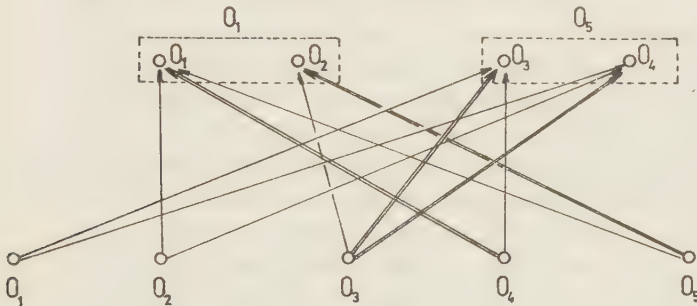


Abb. 1 Die optimale Zuordnung (=)

Die Bestimmung des optimalen Dezentralisierungsgrades wurde unter der Annahme durchgeführt, daß der Informationsbedarf bestimmter Aufgabenträger vorgegeben ist. In gleicher Weise läßt sich dieses Vorgehen auch dann anwenden, wenn an jede Organisationsstelle die für die Entscheidung fehlenden Informationen von anderen, die über diese Informationen verfügen, zu übertragen sind und anschließend die Organisationseinheiten als Entscheidungsträger¹⁾ eingesetzt werden, denen die Informationen mit den geringsten Kosten übertragen werden können.

1) Diese Entscheidungsträger werden bei experimentellen Untersuchungen von Kommunikationsstrukturen als "Problemlöser" bezeichnet. Vgl. Guetzkow, H. und H.A. Simon: The Impact of Certain Communication Nets upon Organization and Performance in Task-Oriented Groups, a.a.O., S. 233-250.

2. Hauptteil:

Die Analyse mehrstufiger Kommunikationssysteme

A. Einführende Kennzeichnung mehrstufiger Kommunikationsnetze

Die Notwendigkeit eines innerbetrieblichen Informationsaustausches resultiert grundsätzlich aus der multipersonalen Arbeitsteilung, der ständig steigenden Spezialisierung sowie der erforderlichen Koordination der Aufgabenträger und Aufgabenerfüllung. Aus dieser Aufgabenverteilung leitet sich der Informationsbedarf der einzelnen Organisationsmitglieder ab. Somit wird der innerbetriebliche Informationsaustausch von der organisatorischen Gestaltung des Aufgaben- und Stellengefüges bestimmt.¹⁾ Wenn jedoch bei der Gestaltung des Kommunikationsnetzes bzw. der Steuerung der Informationsprozesse die übrigen Beziehungen und organisatorischen Verflechtungen der Aufgabenträger zu berücksichtigen sind, stellt die Annahme, es seien nur Direktverbindungen zwischen den Organisationseinheiten vorhanden, eine nicht allgemein zutreffende Vereinfachung dar. Aus diesem Grund wird als eine erste Erweiterung unterstellt, daß nicht nur direkte Informationsverbindungen zwischen zwei Organisationseinheiten bestehen, sondern daß auch zwei Organisationseinheiten durch Einschaltung einer oder mehrerer Informationsstellen in Verbindung treten

1) Vgl. Kosiol, Erich: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum, a.a.O., S. 76; Wild, Jürgen: Informations- und Kommunikationstheorie als Hilfsmittel zur Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 268; Berthel, Jürgen: Informationen und Vorgänge ihrer Bearbeitung, a.a.O., S. 130-131.

können. Diese zusammengesetzten Verbindungen werden als indirekte¹⁾ oder mehrstufige Informationswege bezeichnet.

Bei diesen mehrstufigen Kommunikationsnetzen treten die Fragen der Strukturierung des Informationsübertragungsprozesses in den Vordergrund. Zwar gehen wir wiederum von einem aus der Aufgabenverteilung abgeleiteten und damit gegebenen Informationsbedarf der Empfänger aus, jedoch ist nicht mehr eine klare Funktionsaufteilung aller in dem Kommunikationsnetz verbundenen Organisationseinheiten gegeben. Während bei einstufigen Modellen feststeht, welche Informationsstellen als Sender bzw. Empfänger einzuordnen sind, ist bei der Informationsübermittlung nunmehr zu bestimmen, welche der zulässigen Organisationseinheiten Informationsaufgaben übernehmen.²⁾ Selbst wenn bekannt ist, bei welchen Stellen die erforderlichen Informationen vorhanden sind, wird erst nach der Bestimmung des optimalen Informationsprozesses festgelegt, welche Stellen aus der Zahl der möglichen auch tatsächlich als Sender eingesetzt werden und welche Organisationseinheiten als "Zwischenstationen" Empfangs- und Sendefunktionen zu übernehmen haben. Diese räumliche Strukturierung der Informationsübertragung beinhaltet gleichzeitig eine Entscheidung über die einzelnen Informationswege sowie die einzusetzenden Kommunikationsmittel und -formen. Neben diese Entscheidungen treten die Fragen der zeitlichen Strukturierung des Informationsprozesses, die sich

1) Kosiol, Erich: Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 151; Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 120-125; Strasser, Helge: Zielbildung und Steuerung der Unternehmung, a.a.O., S. 87-91.

2) Anderer Ansicht Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 98-99.

insbesondere auf Zeitpunkte bzw. die zeitliche Reihenfolge der einzelnen Informationsvorgänge im Rahmen des gesamten Informationsprozesses beziehen.

In einem mehrstufigen Informationsnetz ist die Informationsübertragung durch organisatorische Maßnahmen so zu regeln, daß unter Beachtung der gegebenen Informationswege und -mittel, sowie der zeitlichen und quantitativen Bedingungen eine wirtschaftlich optimale Versorgung der Entscheidungsträger mit den erforderlichen Informationen erreicht wird.

B. Darstellung und kritische Untersuchung der Anwendbarkeit von Verfahren zur Lösung des Transshipment-Problems auf Informationsprozesse

Im Gegensatz zu den klassischen Transportproblemen wird bei dem "transshipment problem" oder "Umladeproblem" berücksichtigt, daß zwischen allen Organisationseinheiten nicht nur Direktverbindungen bestehen können, sondern häufig erst über zwischengeschaltete Organisationseinheiten ein Güteraustausch zustandekommt.¹⁾ Diese Möglichkeit, selbst indirekte Wege berücksichtigen zu können, hat wesentlich dazu beigetragen, die Probleme der Informationsübertragung in mehrstufigen Kommunikationsnetzen mit dem "transshipment problem" gleichzusetzen.²⁾ Eine weitere Verallgemeinerung wird durch den Wegfall der Bedingung erreicht, daß Transporte jeweils nur in einer Richtung erfolgen können. Vielmehr werden bei dem Umladeproblem sowohl die Transportmöglichkeiten zwischen verschiedenen Versand- als auch Empfangsorten sowie von Empfangsorten an Versandorte und umgekehrt berücksichtigt. Der Unterschied zu den klassischen Transportproblemen be-

1) Zum Umladeproblem vgl. Orden, A.: The Transshipment Problem, a.a.O., S. 277; Hadley, George: Linear Programming, a.a.O., S. 368-374; Dantzig, George: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 382-399; Ford, L.R. und D.R. Fulkerson: Flows in Networks, Princeton, N.J., 1962, S. 113; Gale, David: The Theory of Linear Economic Models, New York 1960, S. 148-155; Vajda, St.: Readings in Linear Programming, New York 1958, S. 43-44; Arnoff, E.L. und S.S. Sengupta: Mathematical Programming, a.a.O., S. 145.

2) Vgl. Bössmann, Eva: Ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 98-99.

steht also nicht nur darin, daß zusammengesetzte Transportwege berücksichtigt werden, sondern vielmehr darin, daß Transporte zwischen allen Stellen des Transportnetzes möglich sind. Die wesentliche Erweiterung liegt gerade darin, daß jede Stelle Gütermengen für den Versand bereithalten kann, zusätzlich empfangen und/oder weiterleiten kann.¹⁾ Somit liefert eine optimale Lösung des Transshipmentproblem es nicht nur die Zuordnung der Versand- und Empfangsorte, sondern darüberhinaus auch die Mengen, die jede beliebige Station empfangen und versenden soll, damit der Bedarf der Bestimmungsorte optimal erfüllt wird.

Das Umladeproblem besteht allgemein darin, daß die an m Orten vorhandenen Mengen eines homogenen und ausreichend teilbaren Gutes zu $m+n$ Bestimmungsorten in optimaler Weise zu transportieren sind, um deren Bedarf (b_{m+j}) zu befriedigen. Dabei wird angenommen, daß die Bestimmungsorte den Versandorten indifferent gegenüberstehen. Die bei einem Versandort verfügbare Menge (a_i) ergibt sich aus:²⁾

$$(2.6.1) \quad \sum_{k=1}^{m+n} x_{ik} - \sum_{k=1}^{m+n} x_{ki} = a_i \quad \begin{array}{l} \text{für } i=1,2,\dots,m \\ k \neq i. \end{array}$$

-
- 1) Der folgenden Behauptung von Bössmann kann nicht zugestimmt werden: "An diesem Problem (klassischen Transportproblem) ändert sich nichts Wesentliches, wenn wir annehmen, daß es nicht zwischen allen Stationenpaaren (X_i, X_k) direkte Verbindungen gibt." Bössmann, Eva: Ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 98.
 - 2) Der erste Index bezeichnet die versendende und der zweite die empfangende Stelle.

D.h. die insgesamt von i an alle k Orte transportierte Menge darf höchstens gleich dem eigenen Vorrat a_i und den von allen k Orten empfangenen Mengen sein. Entsprechend ergibt sich die Mengenrestriktion für den Bestimmungsort, der nur über den eigenen Bedarf hinausgehende Mengen an andere Orte versenden darf:

$$(2.6.2) \quad \sum_{k=1}^{m+n} x_{k,m+j} - \sum_{k=1}^{m+n} x_{m+j,k} = b_{m+j}$$

für $j=1, \dots, n$ und $k \neq m+j$.

Ferner ist zu fordern, daß die bei allen Orten vorhandenen Gütermengen (a_i) gleich den von allen Bestimmungsorten nachgefragten Gütermengen (b_{m+j}) sind:

$$(2.6.3) \quad \sum_{i=1}^m a_i = \sum_{\substack{m+j= \\ m+1}}^{m+n} b_{m+j}.$$

Betragen die Kosten des Transportes einer Mengeneinheit (x_{pq}) von Ort p zu dem Bestimmungsort q k_{pq} (für $p, q=1, 2, \dots, m+n$ und $p \neq q$), dann sind die positiven und ganzzahligen Werte x_{pq} zu bestimmen, die die Gesamtkosten des Gütertransportes unter Beachtung der Nebenbedingungen (2.6.1, 2.6.2 und 2.6.3) minimieren:

$$(2.6.4) \quad K = \sum_{p=1}^{m+n} \sum_{q=1}^{m+n} k_{pq} x_{pq} \rightarrow \text{Min !}$$

Zur Lösung einer derartigen Problemstellung sei auf die zu Beginn zitierte Literatur¹⁾ und die dort

1) Vgl. Fußnote 1 auf Seite 95.

ausführlich beschriebenen Lösungsverfahren verwiesen. Im Vordergrund der hier vorzunehmenden Untersuchung steht vielmehr die Frage, welche Voraussetzungen dieses mathematische Modell enthält und ob diese bei den Informationsproblemen erfüllt sind, so daß diese Lösungsverfahren ebenfalls für Informationsprobleme in mehrstufigen Kommunikationsnetzen nutzbar gemacht werden können.

Gemeinsamkeiten zwischen mehrstufigen Transportmodellen und der Übertragung von Informationen in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz werden dann sichtbar, wenn berücksichtigt wird, daß ein betriebliches Informationsnetz nicht nur Direktverbindungen, sondern auch indirekte Informationswege enthält, und darüberhinaus ein Informationsaustausch in verschiedenen Richtungen und Ebenen der Betriebs-hierarchie auftritt. So ist die Annahme realistisch, daß auch zwischen Organisationseinheiten, die von der Kommunikationsaufgabe her gesehen als Empfänger zu klassifizieren sind, ein Informationsaustausch stattfindet. In gleicher Weise ist ein Informationsaustausch zwischen den Sendern selbst in die Untersuchung einzubeziehen. Mit der Berücksichtigung indirekter Informationsverbindungen und Informationsprozesse in verschiedenen Richtungen werden die Informationsmodelle den tatsächlichen Gegebenheiten angepaßt.

Ferner kann eine Übereinstimmung in den Anforderungen gesehen werden, die an den Gütertransport und die Informationsübertragung gestellt werden. In beiden Fällen ist eine gegebene Nachfrage wirtschaftlich optimal zu befriedigen. Für beide Prozesse lassen sich die Anforderungen aus dem Wirtschaftlichkeitsprinzip ableiten. Die gegebene

Nachfrage ist entsprechend der Zielvorstellung mit minimalem Mitteleinsatz zu erfüllen. Konkret stellt sich das Problem der Bestimmung einer kostenminimalen, zeitminimalen oder entfernungsminimalen Ausführung der gestellten Aufgaben.

Bedenken könnten sich daraus ergeben, daß "es im allgemeinen nicht möglich (ist), die Stationen eines Kommunikationsnetzes ihrer Funktion nach von vornherein alternativ als Absender, Vermittler oder Empfänger zu klassifizieren".¹⁾ Diese Bedenken erscheinen aber unbegründet, da auch bei einem Transshipmentproblem wie bei einer bestimmten Entscheidungssituation die Güternachfrage bzw. der Informationsbedarf und die Bestimmungsorte bekannt sind. Erst nach Bestimmung der optimalen Lösung wird festgelegt, welche übrigen Stellen welche Funktionen übernehmen. Der Ansicht "bei Kommunikationsproblemen (sei) allein noch der Weg fraglich, über den die Nachricht von den Absendern zu den ihnen zugeordneten Empfängern geleitet werden sollen"²⁾, kann nicht zugestimmt werden, da diese Annahme impliziert, daß die nachgefragten Informationen jeweils nur bei einem bestimmten Sender vorhanden sind. Vielmehr ist doch die Annahme realistisch, daß die von den Aufgabenträgern benötigten Informationen bei verschiedenen Sendern verfügbar sind.

Nach der Bestimmung der optimalen Lösung lassen sich aus dem Verhältnis von empfangenen und versandten Mengen Aussagen über die Funktionen treffen, die von den einzelnen Organisationsmitgliedern ausgeübt werden. Als reine Versandorte sind solche Stellen anzusehen, die keine Mengen von an-

1) Bössmann, Eva: Ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, a.a.O., S. 98-99.

2) Ebenda, S. 99.

deren empfangen haben:

$$(2.6.5) \quad \sum_{k=1}^{m+n} x_{k,i} = 0$$

und von reinen Empfangsorten ist dann zu sprechen, wenn die versandte Menge Null ist:

$$(2.6.6) \quad \sum_{k=1}^{m+n} x_{m+j,k} = 0 .$$

Reine Übertragungsfunktionen nehmen solche Stellen wahr, bei denen die empfangene mit der versandten Menge übereinstimmt:

$$(2.6.7) \quad \sum_{k=1}^{m+n} x_{i,k} = \sum_{k=1}^{m+n} x_{k,i} .$$

Dazu kommen als Kennzeichen des Transshipments Organisationseinheiten, die sowohl Versand- als auch Empfangsfunktionen, jedoch in unterschiedlichem Maße ausüben.

Somit erfolgt erst durch die Strukturierung des Informationsprozesses die Verteilung der Kommunikationsaufgaben auf die einzelnen Aufgabenträger. Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß durch die Strukturierung der Informationsprozesse, die zu der Ablauforganisation zählen, gleichzeitig die Verteilung der Kommunikationsaufgaben der einzelnen Informationsstellen, die nach der Literatur in den Bereich der Aufbauorganisation fällt, beeinflusst und eine exakte Trennung zwischen der Aufbau- und Ablauforganisation für Kommunikationsfragen

selbst theoretisch unmöglich wird.

Zwar wird durch die Erweiterungen in den Transshipmentmodellen der Variationsbereich der Variablen - der frei wählbaren Transportwege, der zulässigen Sender und Empfänger und der Gütermengen - vergrößert, doch bleiben für betriebliche Informationsprobleme noch wesentliche Einflußfaktoren, die den spezifischen Eigenschaften des Informationsaustausches Rechnung tragen, unberücksichtigt. Die Bedenken gegen eine analoge Anwendung der für mehrstufige Transportprobleme entwickelten Optimierungsverfahren auf die vorliegenden Probleme der Informationsübertragung ergeben sich aus der Überlegung, daß im Vordergrund der Frage nach einer wirtschaftlich optimalen Informationsversorgung der Entscheidungsträger im Gegensatz zu dem Realgütertransport nicht die quantitativen und räumlichen, sondern die zeitlichen Probleme unter Beachtung fest vorgegebener Zeitpunkte und Kapazitätsrestriktionen stehen. Wenn auch grundsätzlich der Berücksichtigung weiterer Nebenbedingungen, die den Eigenschaften betrieblicher Informationen Rechnung tragen, in diesen Modellen nichts im Weg steht, kann jedoch die Rechenbarkeit der Modelle erschwert, wenn nicht sogar ausgeschlossen werden. Aus der Überlegung, daß die grundlegenden Voraussetzungen für die Anwendbarkeit dieser Optimierungsverfahren bei den Problemen des Informationsaustausches nicht vorliegen, ergeben sich weitere Einwände. So erfordert die angenommene Proportionalität von Transportkosten und Gütermengen ein ausreichend teilbares und homogenes Gut, das auf frei wählbaren Transportwegen versendet wird, wobei die Empfänger keinerlei Präferenzen gegenüber einzelnen Versandorten besitzen.

Wie schon bei der Kritik zu den klassischen Transportmodellen gezeigt wurde, kann bei betrieblichen Informationen grundsätzlich nicht von homogenen Gütern gesprochen werden. Darüber hinaus wäre zu fordern, daß von allen Empfängern jeweils eine gleichartige Information nachgefragt und von allen Sendern ebenfalls nur eine Information an einen Empfänger übertragen wird. Mit dieser Einschränkung wird der Anwendungsbereich für informativische Fragestellungen erheblich eingeengt.

Ferner wäre die Annahme der freien Wählbarkeit der Informationswege nur in offenen Kommunikationssystemen gegeben, die einen unbeschränkten Informationsaustausch zwischen allen Organisationseinheiten zulassen.¹⁾ Wenn man auch nicht annehmen kann, daß ein gebundenes Kommunikationssystem den tatsächlichen Gegebenheiten allgemein entspricht, so werden in einem betrieblichen Informationssystem häufig Mischungen in der Weise vorliegen, daß zwischen den Organisationsmitgliedern gleicher Rangordnung eine freie Kommunikation möglich ist, während zwischen den hierarchischen Rangebenen häufig jedoch Beschränkungen auftreten werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die strengen Voraussetzungen einer Anwendung der für

1) Zu den Begriffen freie oder offene und gebundene Kommunikationssysteme vgl. z.B. Albach, Horst: Entscheidungsprozeß und Informationsfluß in der Unternehmensorganisation, a.a.O., S. 377; Gutenberg, Erich: Unternehmensführung und Organisation, a.a.O., S. 135; Coenenberg, Adolf G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 116; Sommer, Klaus: Die Bedeutung interpersonaler Beziehungen für die Organisation der Unternehmung, Berlin (1968), S. 55-71.

Umladeprobleme entwickelten Optimierungsverfahren auf Informationsprobleme entgegenstehen und ein allgemein gültiges Lösungsverfahren für ökonomische Fragen in mehrstufigen Informationsnetzen nicht gegeben ist. Daher wird im folgenden untersucht, inwieweit mit der dynamischen Programmierung eine allgemeine Lösung ökonomischer Informationsprobleme erreicht werden kann.

C. Dynamische Programmierungsansätze zur Bestimmung der zeitminimalen Informationsübertragung von einem Sender an einen Empfänger bei begrenzt variablen Informationswegen

Abstrakt gesehen stellt jedes Kommunikationsnetz ein komplexes Gebilde aus einer Menge von Punkten und Linien dar, die gewisse Punktepaare miteinander verbinden. Dann besteht die Informationsübertragung in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz darin, bestimmte Informationen zwischen (bekannten) Anfangs- und Endpunkten so über die Verbindungslinien zu leiten, daß die jeweils an den Informationsprozeß gestellten Anforderungen erfüllt werden.

Da die Graphentheorie¹⁾ grundsätzlich auf alle Strukturen anwendbar ist, die durch eine Menge von Punkten und Beziehungen zwischen diesen Punkten gebildet werden, soll diese spezielle Terminologie für die Beschreibung mehrstufiger Kommunikationsnetze angewendet werden.

Unter Verwendung graphentheoretischer Termini ist das formelle betriebliche Kommunikationssystem ein Netzwerk, wobei als Netzwerk ein zusammenhängender

1) Zur Anwendung der Graphentheorie auf ökonomische Probleme vgl. z.B.: Berge, Claude: The Theory of Graphs and Its Applications, London-New York 1962; Battersby, Albert: Network Analysis for Planning and Scheduling, London-Melbourne-Toronto (1967), S. 1; Avondo-Bodino, Giuseppe: Economic Applications of the Theory of Graphs, London-Glasgow (1962), S. 13-19; Busacker, R.G. und Saaty, T.L.: Endliche Graphen und Netzwerke. Eine Einführung und Anwendung. München-Wien 1968, insbes. S. 254-269; Dantzig, George: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 400-410; Ford, L.R., jr. und Fulkerson, D.R.: Flows in Networks, a.a.O., S. 2-4 und S. 59-60; Zangwill, Willard J.: Minimum Concave Cost Flows in Certain Networks. In: MS, Vol. 14 (1968), S. 429-450; Flament, C.: Applications of Graph Theory to Group Structure, Englewood Cliffs, N.J., 1963.

gerichteter und zyklusfreier Graph bezeichnet wird, der durch eine endliche Menge von Knoten und Verbindungen (Kanten) zwischen diesen Knoten gebildet wird. Wenn jedes Paar von Netzknoten direkt miteinander verbunden ist, wird dieses Netz auch als vollständig bezeichnet, d.h. jeder Knoten wird durch eine Kantenfolge mit jedem anderen Knoten verbunden. Der Weg durch ein Netzwerk besteht in einer Folge von Knoten, von denen je zwei aufeinanderfolgende durch eine Kante verknüpft sind. Er beginnt in einer Quelle und endet mit einer Senke, d.h. der Weg führt von dem Knoten, von dem lediglich Kanten ausgehen, zu einem Knoten, in den alleine Kanten münden.

Überträgt man diese Begriffe auf das durch organisatorische Regelungen geschaffene Informationsnetz, dann repräsentieren die Kanten eines Netzwerkes die Direktverbindungen, die zwischen den Organisationseinheiten, die den Knoten entsprechen, existieren. Ein Informationsweg von einem Sender zu einem Empfänger setzt sich aus mehreren Direktverbindungen zusammen; er wird also durch eine Kanten- bzw. Knotenfolge gebildet, die von einer Quelle, dem Sender, zu einer Senke, dem Empfänger, führt.

Die Behandlung betrieblicher Informationssysteme als gerichtete Netze beinhaltet eine Einschränkung in der Weise, daß Informationsverbindungen jeweils nur in einer Richtung gewertet werden können; also lediglich einseitige¹⁾ Kommunikationsvorgänge ein-

1) Zu den einseitigen und zweiseitigen Informationswegen vgl. z.B. Newman, William H. - Summer, Charles E. - Warren, Kirby E.: The Process of Management, 2. Aufl., Englewood Cliffs (N.J.) 1967, S. 600-606.

geschlossen sind. Diese Einschränkung verliert jedoch an Bedeutung, wenn auf- oder abwärtsgerichtete Informationsprozesse in der hierarchischen Dienststellengliederung betrachtet werden.

I. Die Ermittlung der optimalen Durchlaufzeit in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz

In einem mehrstufigen Informationsnetz verfügt eine Stelle über eine Information, die eine andere für ihre Aufgabenerfüllung benötigt, ohne sie selbst beschaffen zu können. Sind diese beiden Organisationseinheiten nicht unmittelbar durch einen Informationskanal miteinander verbunden, dann stellt sich die Frage, auf welchen Informationswegen bzw. über welche zwischengeschalteten Informationsstellen die erforderliche Information bzw. bei mehreren Informationen der Informationskomplex übertragen werden soll.

Da die Arbeitsausführung erst nach dem Eintreffen der Information begonnen werden kann, besteht das Problem darin, die einzelnen Übertragungsvorgänge so abzustimmen, daß eine minimale Durchlaufzeit der Information von dem Sender zu dem Aufgabenträger erreicht wird. Diese Forderung nach Minimierung der Übertragungszeit findet ihre Begründung ebenfalls in der Überlegung, daß eine wirtschaftlich optimale Informationsversorgung nur unter Berücksichtigung der zeitlichen Beanspruchung aller an der Informationsübertragung beteiligten Organisationsmitglieder und Informationskanäle erfolgen kann. Neben dieser zeitlichen Beanspruchung sind die durch die Informationsübertragung verursachten Kosten von wesentlicher Bedeutung für die Strukturierung der In-

formationsprozesse. Daraus resultiert die Forderung nach einer kostenminimalen Informationsversorgung des Empfängers. Im Vergleich zu der Übertragungszeit und den Kosten der Informationsversorgung tritt die Minimierung der Entfernung als Optimierungskriterium in den Hintergrund, da mit steigender Entfernung die Informationskosten nicht zwangsläufig steigen. Allerdings muß diese Aussage bei einigen Kommunikationsarten eingeschränkt werden; so fällt beispielsweise bei persönlicher Information die Entfernung stärker ins Gewicht. Gegeben sei ein Informationsnetz, in dem N -Organisationseinheiten O_i ($i=1,2,\dots,N$) durch direkte oder indirekte Informationswege verbunden sind. Die Bewertung einer Kante (i,j) entspricht der Durchlaufzeit einer Information von O_i an O_j und wird mit t_{ij} bezeichnet. Für die Durchlaufzeit t_{ij} wird vereinbart:

$$(2.7.1) \quad t_{ij} = \begin{cases} \text{Übertragungszeit, wenn eine Direkt-} \\ \text{verbindung vorhanden ist} \\ \infty, \text{ wenn eine Direktverbindung} \\ \text{fehlt} \end{cases}$$

Ferner gilt stets:

$$(2.7.2) \quad t_{ii} = 0 ,$$

d.h. eine Übertragung einer Stelle an sich selbst wird ausgeschlossen. Bei unterschiedlichen Übertragungszeiten auf den einzelnen verfügbaren Informationskanälen ist diejenige Kanten- bzw. Knotenfolge in dem Netzwerk zu bestimmen, die eine Übertragung der Information von der Quelle (O_1) zu der Senke (O_N) des Netzwerks in minimaler Zeit erlaubt.¹⁾

1) Formal handelt es sich bei dieser Fragestellung um das sogenannte "shortest-route-problem" das Fortsetzung der Fußnote auf der nächsten Seite

z.B. bei Verkehrsnetzen, der Planung von Flugstrecken usw. gelöst und praktisch angewandt wurde. Vgl. z.B. Bellman, Richard: Determination of Optimal Trajectories Via Dynamic Programming. In: Optimization Techniques (Hersg.: G. Leitmann), New York-London 1962, S. 281; derselbe: On a Routing Problem. In: Quart. Appl. Math. Vol. XVI (1958), S. 87-90; Bellman, Richard und Stuart E. Dreyfus: Applied Dynamic Programming, a.a.O., S. 229-230; Bellman, Richard: Combinatorial Analysis. In: Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. Vol. 10: Combinatorial Analysis (Hersg.: American Mathematic Society), Rhode Island 1960, S. 217; Bellman, Richard und Kalaba, Robert: On kth Best Policies. In: J. Soc. Ind. Appl. Math. Vol. 8 (1960), S. 582-588; Dreyfus, Stuart E.: Dynamic Programming, a.a.O., S. 218-221; Kalaba, Robert: Graph Theory and Automatic Control. In: Applied Combinatorial Mathematics (Hersg.: E.F. Beckenbach), New York 1964, S. 239-244; derselbe: On Some Communication Network Problems. In: Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. Vol. 10: Combinatorial Analysis (Hersg.: American Mathematic Society), Rhode Island 1960, S. 265-268; Charnes, A.A. und Henry Miller: Model for the Optimal Programming of Railway Freight Movements. In: MS, Vol. 3 (1957), S. 74; Ferguson, Allen R. und George B. Dantzig: The Allocation to Routes - An Example of Linear Programming under Uncertain Demand. In: MS, Vol. 3 (1957), S. 45-73; Ford jr., L.R. und D.R. Fulkerson: A Suggested Computation for Maximal Multi-Commodity Network Flows. In: MS, Vol. 5 (1958/59), S. 97; dieselben: Maximal Flow through a Network. In: Canadian Journal of Mathematics, Vol. 8 (1956), S. 399-404; Boldyreff, A.W.: Determination of the Maximal Steady State Flow of Traffic Through a Railroad Network. In: OR, Vol. 3 (1955), S. 443-465; von Falkenhausen, Hasso: Die Berechnung der n besten Wege im Netz. In: Ablauf und Planungsforschung, Bd. 8 (1967), S. 227-233; Clarke, S. Krikorian und Ransen, J.: Computing the N Best Loopless Paths in a Network. In: J. Ind. Appl. Math. Vol. 11 (1963), S. 1096-1102; Pollack, Maurice und Walter Wiebenson: Solutions of the Shortest - Route Problem - A Review. In: OR, Vol. 8 (1960), S. 224-230; dieselben: Solution of the kth Best Route through a Network - A Review. In: J. Math. Anal. and Appl. Vol. 3 (1961), S. 547-559; Egert, Ph.: Anwendung des dynamischen Programmierens zum Aufsuchen optimaler Wege in Netzen. In: Ablauf- und Planungsforschung, Bd. 4 (1963), S. 158-166; Opfermann, K.: Ein Beitrag zur Planung der optimalen Linienführung von Verkehrswegen. In: Z.f.ges.Stw., Bd. 123 (1967), S. 279-295.

Ein Informationsweg von einem Sender O_1 zu dem Empfänger O_N wurde als eine Kanten- bzw. Knotenfolge in einem Netzwerk definiert. Die Gesamtzeit der Informationsübertragung errechnet sich somit aus den Übertragungszeiten auf den einzelnen Direktverbindungen. Die Anwendung der dynamischen Programmierung zur Bestimmung der Knotenfolge, für die die Übertragungszeit ein Minimum ist, setzt voraus, daß das anstehende Problem in einzelne Stufen zerlegt werden kann. Für eine Stufeneinteilung bietet sich die Zusammensetzung der Informationswege aus den Direktverbindungen an. Bezeichnet man mit $w_{jN}^{(r-1)}$ einen Weg von O_j nach O_N , der aus $r-1$ Direktverbindungen besteht, dann setzt sich der Weg $w_{iN}^{(r)}$, wobei $i < j$, aus der Direktverbindung O_i nach O_j und dem Weg $w_{jN}^{(r-1)}$ zusammen:

$$(2.7.3) \quad w_{iN}^{(r)} = w_{ij} + w_{jN}^{(r-1)}$$

Für die Übertragungszeit einer Information von dem Sender O_i an den Empfänger auf dem Weg $w_{iN}^{(r)}$ über die Informationsstelle O_j folgt:

$$(2.7.4) \quad t_{iN}^{(r)} = t_{ij} + t_{jN}^{(r-1)}$$

D.h. die Übertragungszeit ($t_{iN}^{(r)}$) einer Information von O_i an O_N auf einem Informationsweg, der aus r -Direktverbindungen besteht, setzt sich aus der Zeit (t_{ij}) für die Information der Organisationseinheit O_j , die unmittelbar mit O_i verbunden ist, und der Übertragungszeit ($t_{jN}^{(r-1)}$) von O_j an O_N auf einem Informationsweg, der aus $r-1$ Direktverbindungen gebildet wird, zusammen.

Soll die Kantenfolge $w_{iN}^{(r)}$ ein optimaler Weg von O_i nach O_N sein, dann muß die Verbindung von O_i nach O_j aus der Menge aller möglichen Direktverbindungen von O_i aus die optimale sein. Die Informationsübertragung von O_i über die benachbarte Stelle O_j an O_N wird nur dann in minimaler Zeit erfolgen, wenn auch der Weg von O_j nach O_N der optimale ist. Wäre dies nicht der Fall würde eine Verknüpfung der optimalen Direktverbindung w_{ij} mit einem günstigeren Weg $w_{jN}^{(r-1)}$ den optimalen Weg $w_{iN}^{(r)}$ bilden.¹⁾

Bezeichnen wir mit $T_{iN}^{(r)}$ die minimale Informationszeit für einen Empfänger O_N durch den Sender O_i auf einem Informationsweg, der sich aus r Direktverbindungen zusammensetzt, dann ergibt sich aus der oben dargestellten Überlegung die Rekursionsbeziehung zur Bestimmung des optimalen Informationsweges

$$(2.7.5) \quad T_{iN}^{(r)} = \min_{j \neq i} \left[t_{ij} + T_{jN}^{(r-1)} \right]; \text{ für } i=1,2,\dots,N-1.$$

Die minimale Übertragungszeit errechnet sich aus der folgenden Rechenvorschrift:

$$(1) \quad T_{NN}^{(0)} = 0, \text{ nach (2.7.2).}$$

(2) Für alle mit O_N unmittelbar verbundenen O_i

$$T_{iN}^{(1)} = t_{iN}.$$

(3) Für alle Stellen, die mit O_N über eine zwischengeschaltete Stelle verbunden sind:

1) Diese Aussage ist aus dem Optimalitätsprinzip von Bellman abgeleitet. Sie stellt lediglich eine dem Problem entsprechende Interpretation dieses Prinzips dar.

$$T_{iN}^{(2)} = \min_{j \neq i} [t_{ij} + T_{jN}^{(1)}] = \min_{j \neq i} [t_{ij} + t_{jN}].$$

(4) Sind alle $T_{iN}^{(2)}$ berechnet, werden in dem nächsten Rechenschritt alle Informationsstellen berücksichtigt, die über einen dreistufigen ($r=3$) Informationsweg mit dem Empfänger O_N verbunden sind. Diese bei O_i beginnenden Informationswege bestehen aus der Direktverbindung zwischen O_i und O_j sowie dem zweistufigen Informationsweg von O_j bis O_N . In die Informationsübertragung wird zunächst die unmittelbar auf O_i folgende Informationsstelle O_j eingeschaltet; wobei die O_j mit den Sendern des vorher betrachteten zweistufigen Informationsweges identisch sind. Durch die Berücksichtigung einer zusätzlichen Direktverbindung werden diese Informationsstellen jedoch zu Empfängern der von O_i ausgehenden Informationsübertragung.

Für die Bestimmung der optimalen Verbindung zwischen O_i , dem Sender, und dem Empfänger O_N folgt aus der Anwendung des Optimalitätsprinzips: Für alle mit O_i direkt verbundenen Informationsstellen O_j werden jeweils nur die optimalen zweistufigen Informationswege zu O_N berücksichtigt.¹⁾ Würde dieser Informationsweg nicht zu einer Übertragung der Information von O_j an O_N in minimaler Zeit ($T_{jN}^{(2)}$) führen, würde die Verknüpfung der Direktverbindung zwischen O_i und O_j mit einem günstigeren Weg zwischen O_j und O_N auch insgesamt zu einer kürzeren Übertragungszeit führen. Für jeden Sender O_i , der

1) Da nur die optimalen zweistufigen Verbindungen berücksichtigt werden, verringert sich der Rechenaufwand gegenüber der direkten Enumeration erheblich. Hierin liegt ein Vorteil der dynamischen Programmierung. Dieser Vorteil wirkt sich umso stärker aus, je mehr Stufen in dem Entscheidungsprozeß zu berücksichtigen sind.

erst durch die Einschaltung von zwei zusätzlichen Informationsstellen mit dem Empfänger O_N verbunden wird, ist diejenige benachbarte Organisationsstelle O_j zu suchen, durch deren Einschaltung in die Informationsübertragung eine minimale Übertragungszeit der Information von dem Sender O_i an den Empfänger O_N erreicht wird:

$$(2.7.6) \quad T_{iN}^{(3)} = \min_{j \neq i} [t_{ij} + T_{jN}^{(2)}], \quad i=1,2,\dots,N-1.$$

Dieser Rechengang ist unter Hinzunahme jeweils einer weiteren Direktverbindung solange zu wiederholen, bis diejenige Organisationseinheit eingeschlossen ist, bei der die von O_N benötigte Information auch tatsächlich vorhanden ist. Allgemein läßt sich für diesen Sachverhalt die Rekursionsbeziehung wie folgt formulieren:

$$(2.7.7) \quad T_{iN}^{(r)} = \min_{j \neq i} [t_{ij} + T_{jN}^{(r-1)}] \quad \text{für } i=1,2,\dots,N-1 \\ \text{und } r=1,2,\dots$$

Darüber hinaus ist sicherzustellen, daß nicht durch eine weitere Verlängerung des Informationsweges eine Kostensenkung eintreten kann. Daher ist zu überprüfen, ob

$$(2.7.8) \quad T_{iN}^{(r)} < T_{iN}^{(r-1)} ;$$

denn in einem weitverzweigten Kommunikationsnetz kann durchaus der Fall eintreten, daß nicht der kürzeste Weg gleichzeitig zu minimalen Kosten führt.

Ist dieser Sender erreicht und die minimale Übertragungszeit für eine Information von O_i an den Empfänger O_N in einem mehrstufigen Kommunikations-

netz bestimmt, dann läßt sich rekursiv ermitteln, auf welchen Informationsverbindungen diese Information zu übertragen ist bzw. welche Organisationseinheiten in die Übertragung eingeschaltet werden müssen, damit diese Durchlaufzeit zustande kommt.

Verallgemeinern wir diese Fragestellung in der Richtung, daß der optimale Weg von einem beliebigen Sender O_i an jeden Empfänger O_k in dem gegebenen Netz bestimmt werden kann, dann ist folgende Rekursionsbeziehung zu berechnen: ¹⁾

$$(2.7.9) \quad T_{ik}^{(r)} = \min_{j \neq i} \left[t_{ij} + T_{jk}^{(r-1)} \right]$$

$$T_{NN} = 0 \quad \begin{array}{l} \text{für } i=1,2,\dots,N-1 \\ \text{und } r=1,2,\dots \end{array}$$

Darin bedeutet $T_{ik}^{(r)}$ die minimale Übertragungszeit von einem Sender O_i an einen Empfänger O_k auf einem Informationsweg, der aus r -Direktverbindungen besteht und mit der Übertragung an O_j beginnt.

II. Die Berücksichtigung zufallsabhängiger Übertragungszeiten bei der Ermittlung der minimalen Durchlaufzeit

Den bisher behandelten Modellen lag die Annahme zugrunde, daß bei der Planung die Gesamtheit aller verfügbaren Handlungsalternativen einschließlich der entsprechenden Konsequenzen bekannt sind. Dieses Kenntnis ist jedoch nur bei vollkommener Voraussicht gegeben. Nun besteht kein Zweifel daran,

1) Vgl. Bellman, Richard und Robert Kalaba: Dynamic Programming and Modern Control Theory, a.a.O., S. 53-54.

daß diese Prämisse in der Realität selten erfüllt ist. Die Planungsdaten werden aus verschiedenen Gründen in unterschiedlichem Maß¹⁾ ungewiß sein.

Bei der Bestimmung der kürzesten Übertragungszeit einer Information in einem gegebenen Kommunikationsnetz kann sich beispielsweise die Ungewißheit darin äußern, daß für die Übertragungszeiten auf den einzelnen Direktverbindungen nur unvollständige oder ungenaue Daten vorliegen. Zur Berücksichtigung dieser Unvollkommenheit²⁾ wird unterstellt, daß für die Übertragungszeiten auf den einzelnen Direktverbindungen nur Schätzwerte mit einer gegebenen Wahrscheinlichkeits-(Häufigkeits)-verteilung vorhanden sind.

An die Stelle eines exakt determinierten Ergebnisses einer Entscheidung tritt nun eine Menge möglicher Handlungskonsequenzen, wobei der Eintritt der Entscheidungskonsequenzen einer bekannten Wahr-

-
- 1) Nach dem Grad der Information wird unterschieden in: Entscheidungen unter Sicherheit, Risiko und Unsicherheit. Vgl. Luce, R.D. und H. Raiffa: Games and Decisions, New York 1957, S. 12-22; Churchman, C.W.: Decision and Value Theory. In: Progress in Operations Research, Bd. I, (herg. von R.L. Ackoif, New York 1961, S. 35-59; Miller, D.W. und M.K. Starr: Executive Decisions and Operations Research, Englewood Cliffs (N.J.) 1960, S. 80-86; Schneeweiß, Hans: Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin-Heidelberg-New York 1967, S. 1-12.
 - 2) Die Unvollkommenheit umfaßt nach Kosiol sowohl die Unvollständigkeit als auch die Unsicherheit neben der Unbestimmtheit und Ungewißheit der Daten. Vgl. Kosiol, Erich: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum, a.a.O., S. 197.

scheinlichkeitsverteilung unterliegt.¹⁾ Wird diese Verteilung bei der Planung des Informationsweges berücksichtigt, dann tritt an die Stelle der Forderung nach einer Minimierung der Übertragungszeit die Minimierung des Erwartungswertes der Übertragungszeit.

Der Erwartungswert der diskreten Zufallsgröße x_k mit den entsprechenden Wahrscheinlichkeiten p_k errechnet sich als das gewogene Mittel aller x_k :

$$(2.7.10) \quad E(x) = \sum_{k=1}^m p_k x_k \cdot$$

Dabei ist jedoch die Berechnung des Erwartungswertes einer Wahrscheinlichkeitsverteilung als Mittelwert einer Häufigkeitsverteilung, deren relative Häufigkeiten den Wahrscheinlichkeiten entsprechen, nur dann gerechtfertigt, wenn der Häufigkeitsverteilung eine genügend große Zahl von Beobachtungen zugrunde liegt. Nur bei häufiger Wiederholung ist damit zu rechnen, daß sich positive und negative Abweichungen von dem Erwartungswert ausgleichen und im Durchschnitt eine Übereinstimmung der tatsächlich eingetretenen Übertragungszeiten mit dem Erwartungswert eintritt.

Betrachtet man die große Zahl der Informationsprozesse, die mit jeder Entscheidung verbunden sind,

1) Vgl. Gnedenko, B.W.: Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung, Berlin (Ost) 1958, S. 147-148; Feller, William: An Introduction to Probability Theory and Its Applications, Vol. I, 2. Aufl., New York-London 1967, S. 207; Schneeweiß, Hans: Entscheidungskriterien unter Risiko, a.a.O., S. 48; Nemhauser, G.L.: Introduction to Dynamic Programming, a.a.O., S. 149-158; Freudenthal, Hans: Wahrscheinlichkeit und Statistik, München 1963, S. 40-46.

so läßt sich aus den praktischen Gegebenheiten eine Begründung für die Gewichtung der Informationszeiten mit ihren Wahrscheinlichkeiten und die Minimierung des Erwartungswertes der Übertragungszeit als Optimalitätskriterium ableiten. Darüber hinaus gibt die moderne Nutzentheorie, die auf den Arbeiten von J. v. Neumann und O. Morgenstern¹⁾ aufbaut, eine theoretische Rechtfertigung dieser Arbeitshypothese.²⁾

Erneut gehen wir von einem mehrstufigen Kommunikationsnetz aus, in dem N Organisationseinheiten O_i durch Informationswege verbunden sind. Im Gegensatz zu dem vorhergehenden Modell können jedoch für die Übertragungszeit nur Schätzwerte mit unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten angegeben werden. Mit t_{ikj} wird die k -te Zeitschätzung für die Übertragung der Information auf der Direktverbindung zwischen O_i und O_j und mit P_{ikj} die entsprechende Eintrittswahrscheinlichkeit bezeichnet. In der Formulierung $1 \leq k \leq m(i,j)$ ³⁾ wird zum Ausdruck gebracht, daß für jede Direktverbindung (i,j) eine unterschiedliche Zahl $m(i,j)$ Schätzwerte bekannt ist. Die Erwartungswerte für die Übertragungszeiten aller mit dem Empfänger O_N unmittelbar verbundenen Organisationsstellen O_i errechnen sich aus:

-
- 1) Vgl. Neumann, v. John und Oskar Morgenstern: Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten, Wien-München 1963, S. 15-29.
 - 2) Vgl. Hadley, G. und T.M. Whittin: Analysis of Inventory Systems, Englewood Cliffs (N.J.) 1963, S. 24.
 - 3) Die Formulierung $m(i,j)$ kennzeichnet, daß die Zahl der Schätzwerte auf den einzelnen Konten verschieden sein kann.

$$(2.7.11) \quad \sum_{k=1}^{m(i,N)} p_{i_k N} t_{i_k N}^{(1)} \quad \text{für } i=1,2,\dots,N-1 \\ \text{und } k=1,\dots,m(i,N).$$

Für ein mehrstufiges Kommunikationsnetz ist nun derjenige Informationsweg zu bestimmen, der den Erwartungswert der Übertragungszeit $E(T_{iN}^{(r)})$ einer Information von dem Sender O_i an den Empfänger O_N minimiert. Bezeichnen wir mit $E(T_{jN}^{(r-1)})$ den Erwartungswert für die Übertragungszeit dieser Information von dem Sender O_j an O_N bei einer optimalen Politik auf dem Informationsweg, der sich aus $r-1$ Direktverbindungen zusammensetzt, dann ergibt sich aus der Anwendung des Optimalitätsprinzips auf diesen Sachverhalt die Rekursionsbeziehung:

$$(2.7.12) \quad E(T_{iN}^{(r)}) = \min_{j \neq i} \left[\sum_{k=1}^{m(i,j)} p_{i_k j} t_{i_k j}^{(1)} + E(T_{jN}^{(r-1)}) \right]$$

$$E(T_{iN}^{(1)}) = \sum_{k=1}^{m(i,N)} p_{i_k N} t_{i_k N}^{(1)}$$

$$\text{für } i=1,2,\dots,N-1, \quad r=1,2,\dots \text{ und} \\ 1 \leq k \leq m(i,j),$$

aus der sukzessive die optimale Lösung bestimmt werden kann.

Nach dieser Rekursionsbeziehung setzt sich der Informationsweg, der zu einer Minimierung des Erwartungswertes für die Übertragungszeit einer Information von O_1 nach O_N , aus der erwarteten Informationszeit für die unmittelbar auf O_1 folgende Informationsstelle O_j und dem Erwartungswert der Übertragungszeit von dieser Stelle O_j an O_N auf

einem aus $r-1$ Direktverbindungen bestehenden Weg bei Anwendung einer optimalen Politik zusammen.

Die Berechnung der optimalen Lösung erfolgt schrittweise. Zunächst werden für alle mit dem Empfänger O_N direkt verbundenen Informationsstellen die erwarteten Informationszeiten bestimmt:

$$(2.7.13) \quad \sum_{k=1}^{m(i,N)} p_{i_k N} t_{i_k N}^{(1)} ;$$

Anschließend sind alle Verbindungen zu dem Empfänger O_N zu untersuchen, die sich aus zwei Direktverbindungen zusammensetzen. Bei diesen zweistufigen Informationsverbindungen werden die in der ersten Stufe betrachteten Sender selbst zu Empfängern. Daraus folgt: Für jeden Sender der Stufe 2 errechnet sich die Übertragungszeit für eine Information des Empfängers O_N aus der Übertragungszeit an den benachbarten Empfänger O_j und der erwarteten Zeit, die diese Informationsstelle für die Übertragung der Information an O_N benötigt; wobei dieser Erwartungswert schon während des ersten Schrittes berechnet wurde. Aus dem Optimalitätsprinzip folgt, daß aus allen mit der Organisationseinheit O_i direkt verbundenen Informationsstellen O_j diejenige auszuwählen ist, welche zu einem minimalen Erwartungswert der Übertragungszeit von O_i an O_N auf einem zweistufigen Weg führt:

$$(2.7.14) \quad E(T_{iN}^{(2)}) = \min_{j \neq i} \left[\sum_{k=1}^{m(i,j)} p_{i_k j} t_{i_k j}^{(1)} + E(T_{jN}^{(1)}) \right]$$

und da

$$(2.7.15) \quad E(T_{jN}^{(1)}) = \sum_{k=1}^{m(j,N)} p_{j_k N} t_{j_k N}^{(1)}$$

ist, folgt ferner aus (2.7.14) und (2.7.15)

$$(2.7.16) \quad E(T_{iN}^{(2)}) = \min_{j \neq i} \left[\sum_{k=1}^{m(i,j)} p_{i_k j} t_{i_k j}^{(1)} + \sum_{k=1}^{m(j,N)} p_{j_k N} t_{j_k N}^{(1)} \right]$$

Ist diese Berechnung für alle Organisationseinheiten durchgeführt, die über einen zweistufigen Informationsweg bzw. die Einschaltung einer weiteren Informationsstelle mit dem Empfänger O_N verbunden sind, schließt sich der nächste Rechenschritt an. In diesem werden alle Organisationseinheiten betrachtet, die über einen dreistufigen Informationsweg mit dem Empfänger O_N verbunden sind. Für diese Organisationsstellen werden ebenfalls die minimalen Erwartungswerte der Übertragungszeit errechnet.

Dieses Vorgehen wird nun unter Einbeziehung jeweils einer zusätzlichen Direktverbindung so oft wiederholt, bis der Sender erreicht ist, bei dem die von dem Empfänger gewünschte Information vorhanden ist. Hat man diesen Sender erreicht, und die minimale erwartete Übertragungszeit ermittelt, dann läßt sich rekursiv bestimmen, welche Organisationseinheiten in den Informationsprozeß eingeschaltet werden müssen, damit diese Übertragungszeit erreicht wird.

III. Die Aussagefähigkeit der Modellergebnisse für die Strukturierung von Kommunikations- netzen und Informationsprozessen

Für das beschriebene Modell gelang mit Hilfe der dynamischen Programmierung die Bestimmung des "schnellsten Informationsweges" durch ein mehrstufiges Informationsnetz. In gleicher Weise erfolgt die Berechnung der kürzesten Verbindung zwischen zwei Organisationseinheiten oder die Bestimmung kostenminimaler Informationsprozesse. Wenn auch in diesem Modell davon ausgegangen wurde, daß von vornherein feststand, an welcher Stelle der Organisation die Informationen vorhanden sind, zeigten die einzelnen Rechenschritte, daß bei einer Optimierung mit Hilfe der dynamischen Programmierung für jede Organisationseinheit des Kommunikationsnetzes der optimale Weg berechnet wird. Darüber hinaus wird die Möglichkeit geboten, die Wirkung jeder Änderung des Kommunikationsnetzes durch Schaffung neuer Informationswege oder Sperren vorhandener Verbindungen auf den Zielwert anzugeben. Weisen die Informationsströme quantitativ und qualitativ eine gewisse zeitliche Konstanz auf, dann können anhand des beschriebenen Optimierungsverfahrens die Auswirkungen organisatorischer Maßnahmen zur Strukturierung von Kommunikationsnetzen beurteilt werden.

Einwände gegen die Anwendung der dynamischen Programmierung zur Unterstützung und Beurteilung organisatorischer Strukturmaßnahmen können daran anknüpfen, daß die einzelnen Bewertungsfaktoren von der jeweiligen Entscheidungssituation und dem auszuführenden Informationsplan abhängen. Diese Argumente können jedoch durch eine genaue Analyse der Bestimmungsgrößen der Informationszeit ent-

kräftet und widerlegt werden. Neben der Fähigkeit der einzelnen Organisationseinheiten, Informationsfunktionen auszuführen, und neben den Informationsmitteln beeinflusst der Informationsumfang die erforderliche Übertragungszeit. Von den Bestimmungsgrößen der Übertragungszeit ändert sich kurzfristig grundsätzlich nur der Informationsumfang. Abstrahiert man von einer speziellen Entscheidungssituation, kann diese Determinante aus der Betrachtung herausgenommen werden. Nimmt man an, daß sich die anderen Determinanten nicht kurzfristig ändern, können mit diesem Verfahren ebenfalls Aussagen über die Strukturänderungen getroffen werden, die zu verallgemeinern sind; insbesondere auch dann, wenn sich die Relationen zwischen den Organisationseinheiten nicht ändern. Ferner besteht ein großer Vorteil der dynamischen Programmierung darin, daß die Ermittlung optimaler Informationsprozesse für jedes Kommunikationsnetz unabhängig davon durchgeführt werden kann, welche Faktoren die Netzstruktur bestimmen.

Über die Art und die Wirkung der einzelnen Bestimmungsfaktoren des Kommunikationsnetzes bestehen in der Literatur stark voneinander abweichende Auffassungen. In einem Extrem wird die Ansicht vertreten, daß allein durch das betriebliche Leitungs- und Weisungssystem die Kommunikationsbeziehungen zwischen den Organisationsmitgliedern geregelt werden.¹⁾ Damit wird der Dienst- oder Be-

1) Vgl. Fayol, Henri: Allgemeine und industrielle Verwaltung. Deutsche Übersetzung von "Administration Industrielle et Generale". Berlin 1929, S. 28-29; ähnlicher Ansicht sind: Goosens, Franz: Handbuch der Personalleiter, zugleich eine Einführung in die Betriebssoziologie. 1. Bd. Personalorganisation und Personalführung, 3. Aufl., Fortsetzung der Fußnote auf der nächsten Seite

fehlsweg zu dem entscheidenden Informationsweg. Die Bindung der betrieblichen Informationsübertragung an den Dienstweg wurde insbesondere von Fayol aus Gründen einer weitgehenden Sicherheit bei der Informationsübermittlung und zur Gewährleistung der "Einheit der Auftragserteilung"¹⁾ befürwortet. Diese Ansicht der Bindung der Kommunikationsverbindungen an das Weisungs- und Leitungssystem findet seine Begründung auch darin, daß das Hauptinteresse dem Kompetenzsystem und den bei der Aufgabenverteilung notwendigen Kontrollen galt. Wenn unterstellt wird, daß das Weisungssystem und Kommunikationssystem übereinstimmen, dann liegt ein vollständig gebundenes Kommunikationssystem²⁾ vor, weil für jede Informationsübertragung durch den Instanzenweg nicht nur die Informationswege, sondern auch die Kommunikationspartner bestimmt sind.

Durch die Bindung der betrieblichen Informationsübertragung zeigen sich alle Nachteile des "Linien-systems" auch bei dem Kommunikationssystem. Die zwangsläufige Verlängerung der Informationswege und die Belastung der einzelnen Instanzen mit Informa-

München 1959, S. 82; Grössle, Heinz K.: Der Mensch in der industriellen Fertigung, a.a.O., S. 138; Fischer Guido: Die Führung von Betrieben, Stuttgart 1961, S. 51; Stratoudakis, Pan: Das Kommunikationssystem als organisatorisches Problem. In: ZfB 32. Jg. (1962), S. 204-216, insbes. S. 212; Barnard, Chester: The Function of Executive, Cambridge, Mass. 1958, S. 175; Chappell, R.T. und W.L. Read: A Textbook of Business Communication, London 1963, S. 18-20; Peters, Raymond W.: Communication within Industry. Principles and Methods of Management - Employee Interchange. New York 1959, S. 168.

1) Vgl. Fayol, Henri: Allgemeine und industrielle Verwaltung ..., a.a.O., S. 28.

2) Zu dem Begriff gebundenes Kommunikationssystem vgl. Gutenberg, E.: Unternehmungsführung, Organisation und Entscheidung, a.a.O., S. 135.

tionsaufgaben kann dazu führen, daß im Gegensatz zu der von Fayol behaupteten Sicherheit der Informationsübermittlung¹⁾ diese nunmehr anfällig für Störungen oder Informationsfilterungen werden kann.

Ferner wird übersehen, daß zwischen den Organisationsmitgliedern nicht nur Anordnungen oder Befehle, sondern auch motivierende und instruierende Informationen ausgetauscht werden.²⁾ Eine Betonung der vertikalen Informationswege, wie sie bei der Bindung an den Instanzenweg erfolgt, steht ebenso in Widerspruch zu empirischen Untersuchungen, die einen starken horizontalen Informationsaustausch nachweisen.³⁾

"... an organizational structure is inadequately described when only the hierarchical set-up is specified. It is necessary to include the corresponding, actually given signaling system."⁴⁾ Diese Überlegungen führen zu dem Ergebnis, daß eine Identität zwischen Kommunikations- und Weisungssystem

1) Vgl. Fayol, Henri: Allgemeine und industrielle Verwaltung ..., a.a.O., S. 29.

2) Ackoff, Russel L.: Towards a Behavioral Theory of Communication, a.a.O., S. 218.

3) Vgl. z.B. Burns, Tom: The Direction of Activity and Communication in a Departmental Executive Group. In: Human Relations, Bd. 7 (1954), S. 73-97; Dubin, Robert: Business Behavior, Behaviorally Viewed. In: Social Science Approaches to Business Behavior, (Hersg. Agris, Chris, Robert Dubin u.a.), Homewood (Ill.) 1962, S. 18; Landsberger, Henry A.: The Horizontal Dimension in Bureaucracy. In: Administrative Science Quarterly, Vol. 6 (1961), S. 299-332; Simpson, Richard L.: Vertical and Horizontal Communication in Formal Organizations. In: Administrative Science Quarterly, Vol. 4 (1959), S. 188-196.

4) Morgenstern, Oskar: Prolegomena to a Theory of Organization, Rand-Research Memorandum, RM-734, Santa Monica (Cal.) 1951, S. 58.

nicht zu bestehen braucht und auch nicht in allen Fällen zweckmäßig ist.

In dem anderen Grenzfall wird eine völlige Trennung von Informationswegen und Leitungssystem gefordert. Hierzu können alle Autoren¹⁾ gezählt werden, welche die Forderung nach direkten Informationsverbindungen zwischen allen Organisationseinheiten erheben. Eine lediglich an den Aufgaben und dazu erforderlichen Informationen orientierte Strukturierung des Kommunikationsnetzes würde jeweils die kürzesten Informationswege herstellen.²⁾

Ohne näher auf die Argumente einzugehen, die für oder gegen diese Ansicht sprechen, soll erläutert werden, wie anhand des beschriebenen Optimierungsverfahrens gezeigt werden kann, welche Auswirkun-

-
- 1) Vgl. Acker, Heinrich: Die organisatorische Stellungsgliederung im Betrieb, a.a.O., S. 90-91; Coenenberg, Adolf: Die Kommunikation der Unternehmung, a.a.O., S. 82; Albach, Horst: Zur Theorie der Unternehmensorganisation, a.a.O., S. 248; Frese, Erich: Kontrolle und Unternehmensführung. Entscheidungs- und organisationstheoretische Grundfragen, a.a.O., S. 121; Stahlmann, Jürgen: Organisation, Entscheidung und Kommunikation, Diss. Göttingen 1960, S. 170; Ulrich, Hans: Betriebswirtschaftliche Organisationslehre. Eine Einführung. Bern 1949, S. 123; Wardenberg, J.: Trennung und Identität von Kompetenz- und Kommunikationssystem im Rahmen der Unternehmensorganisation. In: ZfB, 33. Jg. (1963), S. 122-126; Lindseth, Elmer L.: Management Communication. In: The Management Team. Hersg. Bursk, E., Cambridge (Mass.) 1954, S. 26; Guetzkow, Harold: Communications in Organizations. In: Handbook of Organizations, (Hersg. March, James G.), Chicago 1965, S. 569.
- 2) Vgl. Berthel, Jürgen: Information und Vorgänge ihrer Bearbeitung in der Unternehmung, a.a.O., S. 134.

gen die einzelnen Kommunikationsnetze auf die Kosten bzw. die Zeiten der Informationsübertragung haben. Geht man von gesetzten Zielen der Informationsübermittlung und einem freien Kommunikationsnetz aus, in dem Informationsübertragungen auf direkten und zusammengesetzten Informationswegen zulässig sind, dann können durch die sukzessive Sperrung einzelner Informationswege sämtliche Mischformen bis zu einem völlig gebundenen Kommunikationsnetz gebildet werden. Bei der Berechnung des optimalen Informationsweges in einem freien Kommunikationsnetz wird für jede Informationsstelle die optimale Informationsübertragung bestimmt, so daß für jede Kombination zulässiger Informationsverbindungen die optimale Informationsübertragung und der zugehörige Zielwert angegeben werden können. An der Änderung des Zielwertes können dann die einzelnen Kommunikationsstrukturen beurteilt werden.

- D. die Berücksichtigung von Informationsmitteln und -formen als unabhängige Entscheidungsvariable bei der Bestimmung des zeitminimalen Informationsprozesses in einem mehrstufigen Modell mit unterschiedlichen Möglichkeiten des Informationsaustausches
- I. Die Formulierung eines dynamischen Programmierungsansatzes zur Lösung des Problems bei richtungsgebundenen Informationswegen und einseitigem Informationsaustausch

Als einzige Entscheidungsvariable wird in dem ersten mehrstufigen Modell zur Bestimmung der minimalen Übertragungszeit die Menge der vorhandenen Informationskanäle berücksichtigt. Da diese Informationsverbindungen die grundlegende Voraussetzung eines interpersonellen Informationsaustausches schaffen, sind gleichzeitig die Organisationseinheiten, die in die Informationsübertragung eingeschaltet werden bzw. Informationsfunktionen übernehmen, variabel. Zusätzlich werden nun in einem erweiterten Modell die verschiedenen, einer Informationsstelle für die Informationsübertragung verfügbaren, Informationsmittel aufgenommen. Zu den Informationsmitteln werden hier nicht nur die technischen Hilfsmittel der Informationsübertragung gezählt, sondern darüber hinaus die Informationsform; d.h., ob ein direkter mündlicher Informationsaustausch (face-to-face-communication), eine telefonische oder schriftliche Information stattfindet. In diesem Fall gehören sowohl die technischen Hilfsmittel der Informationsübertragung als auch die Informationsträger zu den Informationsmitteln.

Nun findet man teilweise in den Veröffentlichungen zur Organisationstheorie die Meinung, die Auswahl des Informationsmittels stelle kein organisatorisches Problem¹⁾, sondern vielmehr ein informations-

1) Vgl. Wild, J.: Informations- und Kommunikations-theorie als Hilfsmittel zur Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 304; Berthel, Jürgen: Zur

technologisches dar, das in den Bereich der Nachrichtentechnik gehöre. Dieser Ansicht kann jedoch nicht zugestimmt werden, da von den vorhandenen Informationsmitteln die Übertragungszeit bzw. Kosten des Informationsprozesses abhängen und ferner die Verteilung der Informationsfunktionen in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz beeinflußt wird. Vielmehr ist gerade die Kommunikationsform (mündlicher, telefonischer, schriftlicher Informationsaustausch) für die Strukturierung des Informationsprozesses als Aufgabe der Ablauforganisation von wesentlicher Bedeutung. So wird die telefonische Übermittlung einer Information im allgemeinen in der kürzesten Zeit erfolgen, wobei jedoch dieser Vorteil gegenüber der schriftlichen oder mündlichen Verständigung grundsätzlich nicht bei der Übertragung eines gesamten Informationskomplexes besteht, da bei der telefonischen Übermittlung die einzelnen Informationsempfänger im Gegensatz zu der mündlichen und schriftlichen Informationsübertragung hintereinander erfolgen muß. Über das Verhältnis der Übertragungszeit bei mündlicher und schriftlicher Information können selbst dann keine allgemeingültigen Aussagen gemacht werden, wenn die für die Anfertigung der schriftlichen Information benötigte Zeit hinzugerechnet wird.¹⁾ Beeinflußt das Informationsmittel k ($k=1,2,\dots$) die Zeit, die der Sender O_i für die Informationsübertragung an die unmittelbar mit ihm verbundene Stelle O_j benötigt, dann besteht die Entscheidung in einer Auswahl der von O_i zu informierenden Organisationseinheit O_j und des einzusetzenden Informationsmittels k . Zur Bestimmung der minimalen Übertragungszeit für eine Information von dem Sender O_i an den Empfänger O_N ist diejenige Kombination aus Informationsmitteln und Direktverbindungen zu su-

1) Vgl. Berthel, Jürgen: Zur Organisation der Kommunikation in der Unternehmung, a.a.O., S. 425.

chen, die einen geschlossenen Informationsweg zwischen O_i und O_N bildet und darüberhinaus unter gleichzeitiger Beachtung der alternativen Informationsmittel die Informationszeit minimiert.

Für die Anwendung der dynamischen Programmierung wird der Informationsprozeß in Stufen zerlegt, die der Zahl der Direktverbindungen entsprechen; d.h. auf der Stufe $r = 1$ werden alle Informationsstellen betrachtet, die mit dem Empfänger O_N direkt verbunden sind, auf der Stufe $r = 2$ alle Informationsverbindungen zwischen den Informationsstellen und O_N , die erst durch Einschaltung einer weiteren Organisationseinheit zustande kommen.

Bezeichnet man mit t_{iNk} die Zeit, die für die Übertragung einer Information von O_i an den unmittelbar folgenden Empfänger O_N anfällt, dann ist in dem ersten Rechenschritt das Informationsmittel k mit der kürzesten Informationszeit:

$$(2.8.1) \quad T_{iN}^{(1)} = \min_k t_{iNk}^{(1)}$$

Für diese Direktverbindung zu bestimmen. Diese Berechnung ist für alle mit dem Empfänger O_N unmittelbar verbundenen Informationsstellen O_i vorzunehmen, da nicht a priori angegeben werden kann, welche dieser Organisationseinheiten in den optimalen Prozeß eingeschaltet ist.

Gehen wir nun zu den zweistufigen Informationsverbindungen über, so folgt aus dem Optimalitätsprinzip für die Berechnung auf der Stufe 2, daß der optimale Informationsweg von O_1 bis O_N nur

über O_i und O_j führen kann, wenn die durch die Einschaltung von O_j entstehende Verbindung zwischen O_i und O_N diejenige ist, die eine Informationsübertragung von O_i an O_N in minimaler Zeit gewährleistet. Aus diesen Überlegungen folgt für die Berechnung der zeitminimalen zweistufigen Informationsverbindungen:

$$(2.8.2) \quad T_{iN}^{(2)} = \min_{j \neq i} \min_k [t_{ijk} + T_{jN}^{(1)}]$$

mit

$$T_{iN}^{(1)} = \min_k t_{ijk} ; \quad \text{für } \begin{matrix} i=1,2,\dots,N-1 \\ k=1,2,\dots \\ j=N \end{matrix}$$

Diese Berechnung ist für alle Informationsstellen O_i durchzuführen, die eine Information erst nach Einschaltung einer weiteren Organisationseinheit O_j an den Empfänger O_N übertragen können. Allgemein kann die minimale Übertragungszeit für alle Informationsstellen O_i , die mit O_N über einen aus r -Direktverbindungen bestehenden Informationsweg verbunden sind, aus der Rekursionsbeziehung

$$(2.8.3) \quad T_{iN}^{(r)} = \min_{j \neq i} \min_k [t_{ijk} + T_{jN}^{(r-1)}]$$

$$\begin{matrix} \text{mit } i=1,2,\dots,N-1 \\ k=1,2,\dots \\ r=1,2,\dots \end{matrix}$$

berechnet werden.

Für die Bestimmung der zeitminimalen Übertragungszeit für eine Information, die bei der Stelle O_1 verfügbar ist und von O_N nachgefragt wird, ist

die optimale Lösung mit Hilfe der Rekursions-
beziehung

$$(2.8.4) \quad T_{1N}^{(r)} = \min_{j=1} \left[\min_k t_{1jk} + T_{jN}^{(r-1)} \right]$$

mit

$$T_{NN}^{(0)} = 0 \quad \text{und}$$

$$T_{iN}^{(1)} = \min_k t_{ijk}$$

zu berechnen.

Wenn die minimale Übertragungszeit bekannt ist, wird in umgekehrter Richtung die entsprechende Streckenfolge ermittelt. Durch die Übertragungszeiten auf den einzelnen Direktverbindungen, die der optimale Informationsweg enthält, wird gleichzeitig festgelegt, welches Informationsmittel auf diesen Informationsverbindungen einzusetzen ist.

Mit Hilfe der dynamischen Programmierung kann in der beschriebenen Weise nicht nur der optimale Informationsweg in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz, sondern darüber hinaus simultan die optimale Kombination der Informationsmittel bestimmt werden.

II. Die Entwicklung eines dynamischen Programmierungsansatzes für ein Modell mit beliebiger Informationsflußrichtung und zweiseitigem Informationsaustausch

Bei der Anwendung der dynamischen Programmierung wird der Informationsweg von O_i bis O_N in die Direktverbindung zwischen O_i und O_j und die Informationsverbindung O_j nach O_N zerlegt. Die rekursive

Bestimmung der minimalen Übertragungszeit setzt demnach voraus, daß die optimale Informationsverbindung von allen mit O_i direktverbundenen O_j zu dem Empfänger O_N bekannt sind. Dieses rekursive Vorgehen impliziert eine bestimmte Ordnungsvorschrift in der Weise, daß $j > i$ ist. Daraus folgt, daß als Informationswege nur solche in Frage kommen, die Organisationseinheiten mit steigenden Indizes berücksichtigen. Informationsübertragungen in der Reihenfolge $O_1, O_3, O_5, O_4, O_9, O_7, O_{10}$ werden durch diese Rechenvorschrift von vornherein ausgeschlossen.

Abgesehen von der Gefahr, auf diese Weise optimale Informationswege zu übersehen, besteht kein zwingender Grund für die Annahme, daß betriebliche Informationsprozesse generell an eine strenge Richtung gebunden sind.

Ebenso folgt aus der durch die Rechenvorschrift bedingten Wegrichtung eine beträchtliche Einschränkung der kommunikativen Beziehungen zwischen den Organisationseinheiten.

Nimmt man an, der optimale Informationsweg zwischen zwei Informationsstellen eines offenen Kommunikationssystems - d.h. die Informationsbeziehungen unterliegen keinen Beschränkungen - wäre zu bestimmen, dann resultiert aus der dargestellten Ordnungsvorschrift eine Beeinträchtigung des Informationsaustausches. Dadurch wird nicht nur die Zahl der möglichen Informationswege verringert, sondern ebenfalls wird jeder wechselseitige Informationsaustausch ausgeschlossen. Informationsübertragungen können nur von O_i an O_j , nicht jedoch in um-

gekehrter Richtung erfolgen. Damit wird praktisch ein offenes wie ein gebundenes Kommunikationssystem behandelt, in dem der Informationsaustausch nur zwischen bestimmten Informationsstellen und in einer vorgeschriebenen Richtung stattfindet.

Diese Mängel werden jedoch durch die Einführung fiktiver Informationsstellen (sog. Scheinorte) und Scheinwege beseitigt. Die Bezeichnung "Schein"-ort bringt zum Ausdruck, daß es sich bei diesen Informationsstellen nicht um tatsächlich vorhandene, sondern lediglich aus rechentechnischen Gründen eingeführte Aktivitäten handelt.¹⁾ Betrachten wir beispielsweise das Teilnetz

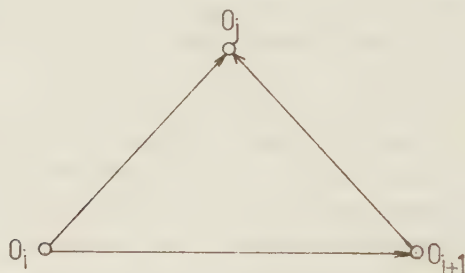


Abb. 2

mit $i < i+1 < j$, dann sind Informationsübertragungen nur in der durch die Pfeile gekennzeichneten Richtung zulässig. Ausgeschlossen sind sowohl Informationsübertragungen von O_{i+1} an O_i bzw. von O_j an O_i oder O_{i+1} ; ebenso bleibt die Informationsverbindung von O_j über O_{i+1} an O_i außerhalb der Betrachtung.

1) Zu der Einführung von Scheinaktivitäten in Netzwerken vgl.: Opfermann, K.: Ein Beitrag zur Planung der optimalen Linienführung von Verkehrswegen, a.a.O., S. 286-288; L.R. Ford jr. und D.R. Fulkerson: Flows in Networks, a.a.O., S. 113-127.

Fügt man der Organisationsstelle O_i einen Scheinort O_{j+1} hinzu, wobei $i+1 < j+1 > j$ gilt, und statuiert ihn mit den entsprechenden Scheinwegen aus, dann können Informationsübertragungen von O_j und O_{i+1} an O_{j+1} bzw. O_i berücksichtigt werden, ohne gegen die Rechenvorschrift zu verstoßen. Durch die Einführung des Scheinortes O_{j+1} und der entsprechenden Scheinwege gelangt man zu dem dargestellten Kommunikationsnetz:

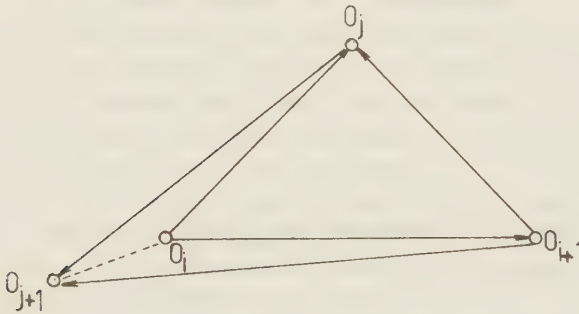


Abb. 3

Da zwischen O_{j+1} und O_i kein echter Informationsaustausch stattfindet, erfordert die Übertragung zwischen diesen beiden Stellen auch keine Übertragungszeit ($t_{i,j+1} = 0$). Indessen kann der Scheinweg zwischen O_j und O_{j+1} mit der Zeit bewertet werden, die für eine Informationsübertragung von O_i an O_j notwendig ist; d.h. $t_{ij} = t_{j,j+1}$. Dieses Vorgehen ist jedoch nur dann gerechtfertigt, wenn die Übertragungszeit unabhängig von der Richtung ist, in der ein Informationsweg benutzt wird. Im umgekehrten Fall wird der Scheinweg $(j, j+1)$ mit der Übertragungszeit $t_{j,i}$ benutzt.

Durch die Einführung von Scheinorten und -wegen wird sichergestellt, daß alle möglichen Wege berücksichtigt werden können, und somit die Gefahr beseitigt, optimale Wege infolge der Ordnungsvorschrift nicht zu erkennen. Darüberhinaus ist durch diese Erweiterung der Informationsaustausch zwischen allen Organisationseinheiten zulässig. Auch wird der Tatsache Rechnung getragen, daß nicht nur einseitige Informationskanäle vorhanden sind. Gerade darin besteht eine wesentliche Erweiterung, die für organisatorische Maßnahmen wichtig ist. Im Hinblick auf die Kapazitätsbeschränkungen der Informationsstellen und -wege tritt die Bedeutung eines wechselseitigen, vertikalen Informationsaustausches klar hervor. So kann beispielsweise ein wegen Überlastung blockierter Informationsweg durch eine vertikale Informationsübertragung umgangen werden. Ebenso ermöglicht die Berücksichtigung des zweiseitigen und ungebundenen Informationsaustausches die Beantwortung der Frage, ob tatsächlich der kürzeste Weg, gemessen an der Zahl der Direktverbindungen, die einen geschlossenen Informationsweg bilden, auch eine Übertragung in minimaler Zeit gewährleistet.

- E. Die simultane Optimierung von Informationswegen. Informationsmitteln und -formen in einem mehrstufigen Mehrpersonen-Modell bei begrenzt variabler Verteilung der Sende- und Empfangsfunktionen.
- I. Die Entwicklung des Modelles zur Bestimmung der kostenminimalen Informationsversorgung

Häufig entsteht bei der Planung des Informationsprozesses die Aufgabe, aus mehreren Sendern, die alle für die Versorgung eines Empfängers mit der erforderlichen Information geeignet sind, den besten auszuwählen. In ähnlicher Weise tritt diese Frage bei Teamentscheidungen oder Entscheidungskollegien auf, wenn es für die Entscheidungsfindung bzw. Aufgabenausführung gleichgültig ist, welches Mitglied die erforderlichen Informationen erhält. Wesentliche Unterschiede können jedoch bei den Kommunikationsbeziehungen zwischen den einzelnen Organisationseinheiten entstehen. Diese lassen sich darauf zurückführen, daß die einzelnen Informationsstellen aufgrund organisatorischer Regelungen mit einer unterschiedlichen Zahl von Informationskanälen oder -mitteln ausgerüstet sind.

Im Gegensatz zu den vorher behandelten Modellen wird nicht mehr von einem Sender und Empfänger ausgegangen, sondern angenommen, daß im Rahmen der Planung des Übertragungsprozesses eine Menge möglicher Sender bzw. Empfänger bekannt ist. Damit ist also auch die Frage offen, welche Organisationseinheit als Sender und Empfänger auftreten.

Ein ähnlicher Sachverhalt liegt dann vor, wenn eine Entscheidung darüber zu treffen ist, welcher Stelle innerhalb einer Abteilung zunächst eine

betriebliche Mitteilung übergeben werden soll, wenn dieser Empfänger nach der Verarbeitung der Information diese an ein beliebiges Mitglied einer anderen Abteilung weiterzuleiten hat. Im Vordergrund dieser Fragestellung steht die Bestimmung des ersten Informationsempfängers unter Berücksichtigung des von ihm ausgehenden Informationsprozesses.

In einem mehrstufigen Kommunikationsnetz sind wiederum N Organisationseinheiten durch Informationskanäle verbunden. Nach den Funktionen, die diese Organisationsstellen bei der Informationsübertragung ausführen können, sind Sender, Empfänger und solche Stellen zu unterscheiden, die sowohl als Sender und Empfänger auftreten müssen. Die Informationsstellen, die über die erforderliche Information verfügen oder sie beschaffen können, werden mit O_i ($i=1...g$) bezeichnet. Sie geben die Gesamtheit der Informationsstellen an, die als Ausgangspunkte des Informationsprozesses zulässig sind. Diejenigen Stellen O_i ($i=m, m+1, \dots, N$) mit Informationsbedarf geben die Empfänger an. Wegen der Annahme, es sei gleichgültig, welchem Empfänger die Information übertragen wird, endet die Informationsübertragung, sobald eine Informationsstelle O_i ($i \geq m$) erreicht ist. Die verbleibenden $N-(g+m)$ Organisationsstellen O_i ($g < i < m$) üben als Zwischenstellen sowohl Sende- als auch Empfangsfunktionen aus.

Bezeichnet man mit c_{ijk} die Kosten der Informationsübertragung zwischen den direktverbundenen Informationsstellen O_i und O_j in Abhängigkeit von dem verwendeten Kommunikationsmittel k , dann ist derjenige Informationsweg von einem Sender O_i

($i \leq g$) zu suchen, der die Kosten der Informationsübertragung an einen Empfänger O_i ($i > m$) minimiert. D.h. bei der Bestimmung der minimalen Übertragungskosten ist darüber zu entscheiden, welche Organisationseinheiten als Sender und Empfänger einzusetzen sind und über welche und wieviele Zwischenstationen der Informationsweg führt, wobei gleichzeitig für jede Direktverbindung das Kommunikationsmittel festzulegen ist.

An dem folgenden einfachen Modellbeispiel soll demonstriert werden, wie mit Hilfe der dynamischen Programmierung eine simultane Planung von Informationswegen und Kommunikationsmitteln sowie eine Verteilung informatorischer Funktionen in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz durchgeführt wird.

In dem Kommunikationsnetz, das diesem Beispiel zugrunde liegt, werden N Organisationseinheiten durch Kommunikationsverbindungen miteinander verknüpft. Bei den $g=4$ Sendern O_i ($i=1,2,\dots,4$) beginnen die Informationswege, auf denen die Information an die zwei Empfänger O_{17} und O_{18} übertragen werden kann. Diese Informationswege unterscheiden sich in der Länge - d.h. der Zahl der Direktverbindungen, aus denen sich jeweils ein Informationsweg zusammensetzt - und darin, welche und wieviele Organisationseinheiten in die Übertragung eingeschaltet werden. Außerdem treten Abweichungen in der Reihenfolge auf, in der die einzelnen Organisationseinheiten informatorische Aufgaben übernehmen.

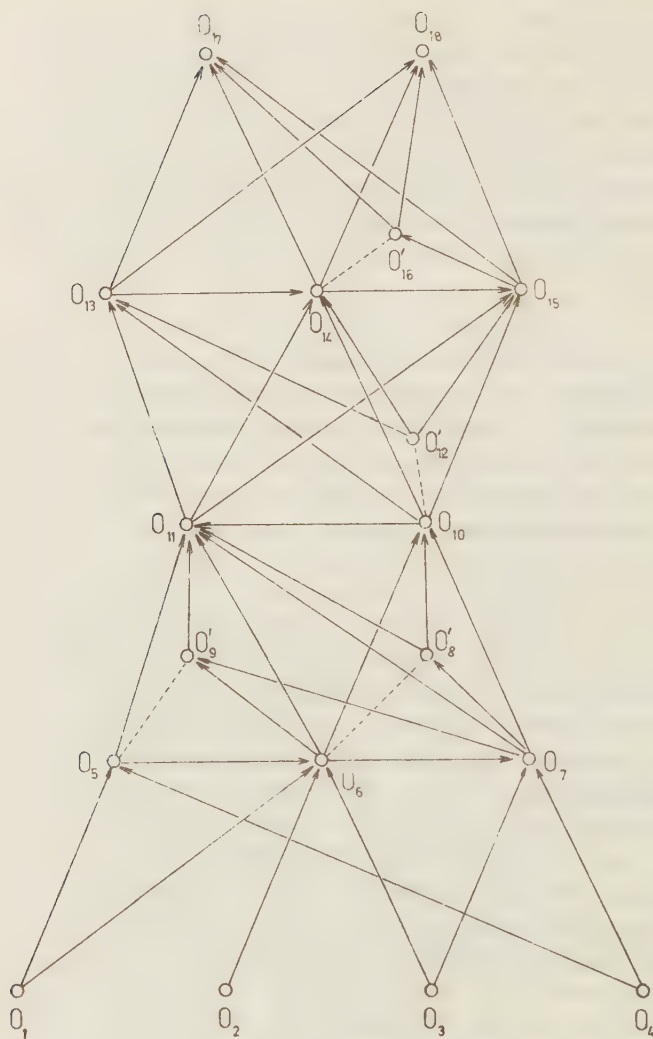


Abb. 4 Darstellung des mehrstufigen Kommunikationsnetzes

Um das Modell praktischen Gegebenheiten anzupassen, werden sowohl einseitige als auch zweiseitige Kommunikationsbeziehungen berücksichtigt. Die wechselseitigen Kommunikationsverbindungen werden in symmetrische und nicht symmetrische eingeteilt, wobei symmetrische dadurch gekennzeichnet sind, daß die Kosten der Informationsübertragung in beiden Richtungen übereinstimmen, d.h. $c_{ij} = c_{ji}$. Die Lösung des Informationsprozesses von einer bestimmten Richtung macht, wie in den vorhergehenden Ausführungen erläutert wurde, die Einführung von Scheinorten notwendig, die durch $O_i^!$ ($i=8,9,12,16$) symbolisiert werden. Diese fiktiven Informationsstellen sind in den $N=18$ Organisationseinheiten enthalten. Für welche Organisationseinheit der jeweilige Scheinort eingeführt wurde, wird in der graphischen Darstellung durch eine unterbrochene Verbindungslinie zum Ausdruck gebracht. Ein Informationsaustausch zwischen den Sendern bzw. den Empfängern braucht nicht berücksichtigt zu werden, da von der Annahme ausgegangen wird, daß es für die Arbeitsausführung gleichgültig ist, welcher Sender an welchen Empfänger überträgt. Außerdem wird der kostenminimale Informationsweg nicht nacheinander über zwei Sender bzw. zwei Empfänger führen.

In der folgenden Übersicht, sind die Kosten der Informationsübertragungen auf den einzelnen Direktverbindungen in Abhängigkeit von dem eingesetzten Kommunikationsmittel (k) aufgeführt. Dabei werden mündliche ($k=1$), schriftliche ($k=2$) und telefonische ($k=3$) Informationsübertragungen unterschieden. So bedeutet z.B. $c_{ijk} = (21, 9, 14)$, daß eine mündliche Informationsübertragung Kosten in Höhe von 21, eine schriftliche 9 und eine telefonische

Informationsübertragung Kosten von 14 verursacht. Die Zahl der verfügbaren Kommunikationsmittel wurde von der Stellung der Organisationsstellen in dem hierarchisch gegliederten Organisationsaufbau abhängig gemacht. Die Kosten der Informationsübertragung von und zu den Scheinorten ergeben sich aus ihrer Funktion. Die Informationskosten aller mit O_i direktverbundenen Organisationseinheiten entsprechen den Kosten,¹⁾ die eine Übertragung von der zugehörigen Informationsstelle verursacht. Die Kosten der Informationsversorgung auf einem "Scheinweg" von der Informationsstelle O_5 an den entsprechenden Scheinort O'_9 sind Null, da keine konkrete Übertragung erfolgt. Bei den Kosten der Informationsübertragung sind also folgende Möglichkeiten zu unterscheiden:

$$c_{ijk} = \begin{cases} 0, & \text{für } i=j, \\ > 0, & \text{wenn eine Direktverbindung besteht,} \\ \infty, & \text{wenn eine Direktverbindung fehlt.} \end{cases}$$

1) Im Gegensatz zu dem einstufigen Kommunikationsnetz werden hier die Übertragungskosten mit c_{ijk} bezeichnet, da der Buchstabe k als Index verwendet wird.

0_1																	5	8
																	-	-
0_2																	2	-
																	-	-
0_3																	6	3
																	-	-
0_4																	3	-
																	-	8
																	-	-
0_5																	-	9
																	-	8
																	-	0
																	10	-
0_6																	-	-
																	3	-
																	12	0
																	9	-
0_7																	-	-
																	10	0
																	-	-
$0'_8$																	-	-
																	9	11
																	16	14
																	7	7
																	-	-
$0'_9$																	-	-
																	2	14
																	10	10
																	0	0
0_{10}																	-	-
																	18	24
																	19	28
																	7	21
																	16	18
																	0	19
																	12	12
																	16	16
0_{11}																	-	-
																	19	25
																	18	28
																	22	23
																	16	17
																	8	8
																	0	0
$0'_{12}$																	-	-
																	18	24
																	19	28
																	7	21
																	16	18
																	0	19
0_{13}																	-	-
																	25	23
																	32	26
																	24	19
0_{14}																	-	-
																	10	26
																	18	28
																	16	25
																	0	14
																	18	0
																	12	12
0_{15}																	-	-
																	27	30
																	32	25
																	26	28
																	5	19
																	0	0
$0'_{16}$																	-	-
																	10	26
																	18	28
																	16	25
																	0	0
																	-	-
																	0	18
																	0	17
																	0	16
																	0	15
																	0	14
																	0	13
																	0	12
																	0	11
																	0	10
																	0	9
																	0	8
																	0	7
																	0	6
																	0	5

Kostenübersicht:

Empfänger

II. Die Berechnung der optimalen Lösung mit der dynamischen Programmierung

Aus diesen Zahlenangaben soll nun mit Hilfe der dynamischen Programmierung die optimale Kombination der Direktverbindungen und der Kommunikationsmittel bestimmt werden. Diese optimale Kombination gibt nicht nur den kostenminimalen Informationsweg, sondern gleichzeitig an, welche Organisationseinheiten mit welchen Funktionen an dem Informationsprozeß beteiligt sind und welche Kommunikationsmittel von ihnen eingesetzt werden.

Da angenommen wurde, daß jeder Informationsweg aus einer Folge von Direktverbindungen besteht, wobei die Informationskosten auf den einzelnen Direktverbindungen unabhängig voneinander sind, kann das Problem in einzelne Stufen zerlegt werden. Jede dieser Stufen enthält als Zustände eine Menge von Organisationseinheiten, die über einen Informationsweg mit den Empfängern verbunden sind, der sich aus einer für alle Stellen gleichen Zahl von Direktverbindungen zusammensetzt. Die Stufennummer entspricht somit der Länge des Informationsweges, gemessen in der Zahl der verknüpften Direktverbindungen. Zur Ermittlung des optimalen Informationsweges werden sukzessive zwei Stufen zusammengefaßt, und für jeden Sender die beste Kombination aus den Direktverbindungen und Kommunikationsmitteln gesucht. Die Werte für diese zweistufigen Informationswege werden dann mit der direkt anschließenden Direktverbindung kombiniert, und ergeben die Übertragungskosten für einen Informationsweg, der aus drei unmittelbar folgenden Direktverbindungen

besteht. Bei der Berechnung geht man von folgender Grundbeziehung aus:

$$(2.9.1) \quad K_i^{(r)} = \min_{j \neq i} \left\{ \min_k c_{ijk} + K_j^{(r-1)} \right\}$$

$$\begin{aligned} &\text{für } i=1,2,\dots,N \\ &\quad k=1,2,\dots \\ &\quad r=1,2,\dots \\ &\quad i < j \end{aligned}$$

mit

$$K_j^{(0)} = 0$$

und

$$K_i^{(1)} = \min_k c_{ijk}.$$

Dabei sind $K_i^{(r)}$ die minimalen Kosten der Übertragung einer Information von dem Sender O_i ($1 \leq i \leq m-1$) an einen Empfänger O_j ($j=g+1,\dots,N$) auf einem Informationsweg, der aus einer Folge von r Direktverbindungen besteht. Diese Kosten setzen sich zusammen aus den Übertragungskosten an die Informationsstelle O_j , die mit dem Sender O_i unmittelbar verbunden ist, und den Kosten, die für die Übertragung von O_j an den endgültigen Empfänger auf einem $(r-1)$ -stufigen Informationsweg im günstigsten Fall entstehen.

In dem ersten Rechenschritt werden die minimalen Informationskosten für alle Sender ermittelt, die mit den beiden Empfängern unseres Beispiels (O_{17} und O_{18}) unmittelbar verbunden sind. Da nicht bekannt ist, welche dieser Informationsstellen in den optimalen Informationsprozeß als letzte Zwischenstation eingeschaltet wird, muß diese Berechnung für alle Sender O_i ($i=13,14,15,16$) durchgeführt werden:

$$(2.9.2) \quad K_i^{(1)} = \min_{j \neq i} \min_k [c_{ijk} + K_j^{(0)}]$$

$$\begin{aligned} \text{für } i &= 13, 14, 15, 16 \\ j &= 17, 18 \\ k &= 1, 2, 3 \end{aligned}$$

Nach Einsetzen der Zahlen aus der Kostenübersicht ergibt sich für:

$$K_{16}^{(1)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 26+0; 28+0; 25+0 \\ 10+0; 18+0; 16+0 \end{bmatrix} = 10$$

$$O_{16}^{(1)} = O_{16} O_{18}, \quad \text{mit } k=1,$$

$$K_{15}^{(1)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 30+0; 25+0; 28+0 \\ 27+0; 32+0; 26+0 \end{bmatrix} = 25$$

$$O_{15}^{(1)} = O_{15} O_{17}, \quad \text{mit } k=2,$$

$$K_{14}^{(1)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 26+0; 28+0; 25+0 \\ 10+0; 18+0; 16+0 \end{bmatrix} = 10$$

$$O_{14}^{(1)} = O_{14} O_{18}, \quad \text{mit } k=1,$$

$$K_{13}^{(1)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 23+0; 26+0; 19+0 \\ 25+0; 32+0; 24+0 \end{bmatrix} = 19$$

$$O_{13}^{(1)} = O_{13} O_{17}, \quad \text{mit } k=3.$$

Mit diesen Ergebnissen läßt sich die Frage beantworten, wie die Informationsübertragung fortzusetzen ist, wenn es sich herausstellen sollte, daß die Übertragung bis beispielsweise O_{14} die optimale ist. Unter dieser Voraussetzung hat die Informationsstelle die Information mündlich ($k=1$)

an den Empfänger 0_{18} zu übertragen.

Auf der Stufe 2 werden alle Organisationseinheiten 0_i berücksichtigt, die mit den Empfängern 0_{17} und 0_{18} erst über eine Zwischenstation 0_j in Verbindung treten können. Für alle 0_i ($i < j$) werden die kostenminimalen zweistufigen Informationswege aus:

$$(2.9.3) \quad K_i^{(2)} = \min_{j \neq i} \min_k [c_{ijk} + K_j^{(1)}]$$

für $i=15, 14, 13, 12, 11, 10$
 $j > i$
 $k=1, 2, 3$

bestimmt.

$$K_{15}^{(2)} = \min_{j,k} [24+10; 19+10; 5+10] = 15$$

$$0_{15}^{(2)} = 0_{15} 0_{16}^{(1)}, \quad \text{mit } k=3,$$

$$K_{14}^{(2)} = \min_{j,k} [14+25; 18+25; 12+25] = 37$$

$$0_{14}^{(2)} = 0_{14} 0_{15}^{(1)}, \quad \text{mit } k=3,$$

$$K_{13}^{(2)} = \min_{j,k} [22+10; 24+10; 19+10] = 29$$

$$0_{13}^{(2)} = 0_{13} 0_{14}^{(1)}, \quad \text{mit } k=3,$$

$$K_{12}^{(2)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 16+19; 18+19; 16+19 \\ 24+10; 28+10; 21+10 \\ 18+25; 19+25; 7+25 \end{bmatrix} = 31$$

$$0_{12}^{(2)} = 0_{12} 0_{14}^{(1)}, \quad \text{mit } k=3,$$

$$K_{11}^{(2)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 17+19; 21+19; 13+19 \\ 25+10; 28+10; 23+10 \\ 19+25; 18+25; 22+25 \end{bmatrix} = 32$$

$$O_{11}^{(2)} = O_{11} O_{13}^{(1)}, \quad \text{mit } k=3,$$

$$K_{10}^{(2)} = \min_{j,k} \begin{bmatrix} 16+19; 18+19; 16+19 \\ 24+10; 28+10; 21+10 \\ 18+25; 19+25; 7+25 \end{bmatrix} = 31$$

$$O_{10}^{(2)} = O_{10} O_{14}^{(1)}, \quad \text{mit } k=3.$$

Die erste Rechnung auf der Stufe 2 führt zu folgendem Ergebnis: Die Übertragung der Information an einen Empfänger auf einem aus zwei Direktverbindungen bestehenden Informationsweg verursacht minimale Kosten von 15, wenn die Stelle O_{15} die Information zunächst telefonisch an O'_{16} sendet, da $k=3$. Diese minimalen Kosten werden aber nur dann erreicht, wenn O'_{16} die optimale Kombination aus den verfügbaren Direktverbindungen und Kommunikationsmitteln einsetzt. Diese läßt sich aus der Rechnung auf Stufe 1 ablesen. Danach hat O'_{16} die Information an den Empfänger O_{18} mündlich weiterzugeben.

Da O'_{16} als fiktive Informationsstelle mit O_{14} identisch ist, führt der optimale zweistufige Weg von O_{15} über O_{14} an O_{18} .

Auf der Stufe 3 werden alle Organisationseinheiten berücksichtigt, die mit den Empfängern O_{17} und O_{18} über Informationswege verbunden sind, die sich aus drei Direktverbindungen zusammensetzen bzw. erst durch Einschaltung von zwei weiteren Informationsstellen entstehen. Die Berechnung der minimalen Informationskosten erfolgt nach:

$$(2.9.4) \quad K_i^{(3)} = \min_{j \neq i} \min_k [c_{ijk} + K_j^{(2)}]$$

$$K_j^{(2)} = K_i^{(2)}.$$

Analog zu den Berechnungen auf den Stufen 1 und 2 wird für jede Informationsstelle O_i das kleinste Element einer Kostenmatrix, die aus j Zeilen und k Spalten besteht, ermittelt. Daher werden die Ergebnisse der Rechnung dieser und der folgenden Stufen in einer Tabelle erfaßt.

	Stufe r=3			Stufe r=4			Stufe r=5			Stufe r=6		
O_i	$K_i^{(3)}$	$O_j^{(2)}$	k	$K_i^{(4)}$	$O_j^{(3)}$	k	$K_i^{(5)}$	$O_j^{(4)}$	k	$K_i^{(6)}$	$O_j^{(5)}$	k
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
O_{14}	27	O_{15}	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O_{13}	56	O_{14}	3	46	O_{14}	3	-	-	-	-	-	-
O_{12}	22	O_{15}	3	48	O_{14}	3	62	O_{13}	1/3	-	-	-
O_{11}	33	O_{15}	2	30	O_{12}	2	56	O_{12}	2	70	O_{12}	2
O_{10}	22	O_{15}	3	45	O_{11}	2	42	O_{11}	2	68	O_{11}	2
O_9	34	O_{11}	1	35	O_{11}	1	32	O_{11}	3	58	O_{11}	1
O_8	38	O_{10}	3	29	O_{10}	3	37	O_{11}	3	49	O_{10}	3
O_7	39	O_{10}	1	30	O_{10}	1	38	O_8	1	39	O_9	1
O_6	38	O_{10}	3	29	O_{10}	2	33	O_7	1	35	O_9	1
O_5	34	O_{11}	1	35	O_{11}	1	32	O_{11}	1	41	O_6	2
O_4	-	-	-	37	O_7	1	33	O_7	1	40	O_5	1
O_3	-	-	-	40	O_7	1	32	O_6	1	36	O_6	1
O_2	-	-	-	40	O_6	1	31	O_6	1	35	O_6	1
O_1	-	-	-	42	O_5	1	34	O_6	1	38	O_6	1

In dieser Tabelle sind für jeden Zustand (möglichen Sender) einer Stufe r die minimalen Übertragungskosten für die Übertragung einer Information an den Empfänger auf einem r -stufigen Informationsweg und die Informationsstelle O_j enthalten, die unmittelbar nach dem Sender die Information erhält und weiterzuleiten hat, sowie das Kommunikationsmittel k , das der Sender O_i für die Information der Stelle O_j einzusetzen hat, wenn die Übertragung mit minimalen Kosten erfolgen soll.

Betrachtet man nun die Ergebnisse für die Sender O_i ($i \leq 4$), die über die erforderliche Information verfügen, so erkennt man aus den Spalten 5-7, daß die Übertragung auf einem Informationsweg, der aus vier Direktverbindungen besteht, von O_4 mit den geringsten Kosten ($K_i^{(4)} = 37$) aus beginnt und zur Information der anschließenden Informationsstelle O_7 das Kommunikationsmittel $k=1$ verwendet werden muß. Von O_7 aus ist die Information an die Stelle O_{10} mündlich ($k=1$) weiterzugeben, wie aus den Spalten 2-4 und der O_7 entsprechenden Zeile zu erkennen ist.

Diese Informationskosten sind jedoch durch die Berücksichtigung einer zusätzlichen Direktverbindung zu verringern, wie aus den Spalten 8-10 und den Zeilen O_4 , O_3 , O_2 und O_1 hervorgeht. Mit der Übertragung auf einem fünfstufigen Informationsweg, der bei O_2 beginnt und mit einer ersten mündlichen Informationsübertragung an O_6 fortgesetzt wird, sind Informationskosten $K_2^{(5)} = 31$ verbunden.

Eine weitere Kostensenkung kann auch durch die Hinzunahme einer weiteren Direktverbindung nicht erreicht werden. Da für alle Sender O_i ($i \leq 4$) die

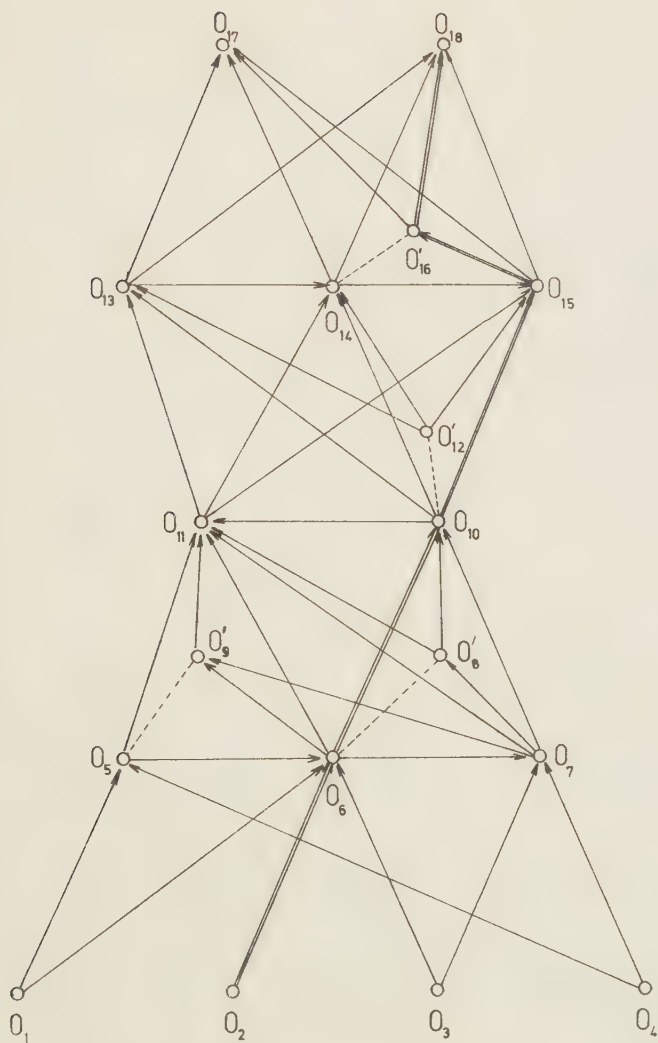


Abb. 5 Der optimale Informationsprozeß in einem mehrstufigen Kommunikationsnetz

Bedingung

$$K_i^{(r)} < K_i^{(r+1)}, \quad \text{für } i=1,2,3,4$$

erfüllt ist, ändert sich die optimale Lösung des gestellten Problems nicht mehr.

Nachdem die minimalen Übertragungskosten ermittelt sind, wird rekursiv die Reihenfolge der Informationsstellen ermittelt und die jeweils von ihnen einzusetzenden Kommunikationsmittel bestimmt. Dazu werden alle Ergebnisse in einer Kostenübersicht erfaßt.

O_i	Stufe r=1			Stufe r=2			Stufe r=3			Stufe r=4			Stufe r=5			Stufe r=6		
	$K_i^{(1)}$	$O_j^{(0)}$	k	$K_i^{(2)}$	$O_j^{(1)}$	k	$K_i^{(3)}$	$O_j^{(2)}$	k	$K_i^{(4)}$	$O_j^{(3)}$	k	$K_i^{(5)}$	$O_j^{(4)}$	k	$K_i^{(6)}$	$O_j^{(5)}$	k
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
O_{16}	10	$\frac{0(0)}{018-}$	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O_{15}	25	$\frac{0(0)}{017}$	2	15	$\frac{0(1)}{016-}$	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O_{14}	10	$\frac{0(0)}{018}$	1	37	$\frac{0(1)}{015}$	3	27	$\frac{0(1)}{015}$	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O_{13}	19	$\frac{0(0)}{017}$	3	29	$\frac{0(1)}{014}$	3	56	$\frac{0(1)}{014}$	3	46	$\frac{0(1)}{014}$	3	-	-	-	-	-	-
O_{12}	-	-	-	31	$\frac{0(1)}{014}$	3	22	$\frac{0(1)}{015}$	3	48	$\frac{0(1)}{014}$	3	62	$\frac{0(1)}{013}$	$\frac{1}{3}$	-	-	-
O_{11}	-	-	-	32	$\frac{0(1)}{013}$	3	33	$\frac{0(1)}{015}$	2	30	$\frac{0(1)}{012}$	2	56	$\frac{0(1)}{012}$	2	70	$\frac{0(1)}{012}$	2
O_{10}	-	-	-	31	$\frac{0(1)}{014}$	3	22	$\frac{0(1)}{015-}$	3	45	$\frac{0(1)}{011}$	2	42	$\frac{0(1)}{011}$	2	68	$\frac{0(1)}{011}$	2
O_9	-	-	-	-	-	-	34	$\frac{0(1)}{011}$	1	35	$\frac{0(1)}{011}$	1	32	$\frac{0(1)}{011}$	1	58	$\frac{0(1)}{011}$	1
O_8	-	-	-	-	-	-	38	$\frac{0(1)}{010}$	3	29	$\frac{0(1)}{010}$	3	37	$\frac{0(1)}{011}$	3	49	$\frac{0(1)}{010}$	3
O_7	-	-	-	-	-	-	39	$\frac{0(1)}{010}$	1	30	$\frac{0(1)}{010}$	1	38	$\frac{0(1)}{08}$	1	39	$\frac{0(1)}{09}$	1
O_6	-	-	-	-	-	-	38	$\frac{0(1)}{010}$	3	29	$\frac{0(1)}{010-}$	2	33	$\frac{0(1)}{07}$	1	35	$\frac{0(1)}{09}$	1
O_5	-	-	-	-	-	-	34	$\frac{0(1)}{011}$	1	35	$\frac{0(1)}{011}$	1	32	$\frac{0(1)}{011}$	1	41	$\frac{0(1)}{06}$	2
O_4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	37	$\frac{0(1)}{07}$	1	33	$\frac{0(1)}{07}$	1	40	$\frac{0(1)}{05}$	1
O_3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	$\frac{0(1)}{07}$	1	32	$\frac{0(1)}{06}$	1	36	$\frac{0(1)}{06}$	1
O_2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	$\frac{0(1)}{06}$	1	31	$\frac{0(1)}{06-}$	1	35	$\frac{0(1)}{06}$	1
O_1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	42	$\frac{0(1)}{05}$	1	34	$\frac{0(1)}{06}$	1	38	$\frac{0(1)}{06}$	1

Die minimalen Kosten der Informationsübertragung werden erreicht, wenn der Informationsprozeß bei O_2 beginnt und über die Informationsstellen O_6 , O_{10} , O_{15} , O'_{16} an den Empfänger übertragen wird. Da O'_{16} als fiktive Informationsstelle mit O_{14} identisch ist, führt die optimale Streckenfolge von O_2 über O_6 , O_{10} , O_{15} , O_{14} nach O_{18} . Damit ist gleichzeitig die Verteilung der Informationsfunktionen in dem mehrstufigen Kommunikationssystem festgelegt. So übernimmt die Organisationsstelle O_2 die Funktion als Sender aus der Gruppe der Stellen, die alle über die Information verfügen oder sie beschaffen können, während der Informationsprozeß bei dem Empfänger O_{18} endet. Als Zwischenstellen, die sowohl Empfangs- als auch Sendefunktionen übernehmen, wurden O_6 , O_{10} , O_{15} und O_{14} ausgewählt und gleichzeitig bestimmt, in welcher Reihenfolge diese Stellen in den Informationsprozeß eingeschaltet und welche Kommunikationsmittel für die Übertragung auf den einzelnen Direktverbindungen benutzt werden.

Das Verfahren, das zur Bestimmung der kostenminimalen Kombination von Informationskanälen und Kommunikationsmitteln herangezogen wurde, läßt sich ebenfalls auf Fragen der räumlichen und zeitlichen Strukturierung von Informationsprozessen in mehrstufigen Kommunikationsnetzen anwenden. Ähnlich ist beispielsweise die minimale Übertragungszeit zu ermitteln, wenn die Informationszeiten auf den einzelnen Direktverbindungen unterschiedlich sind und von den verschiedenen Kommunikationsmitteln abhängen. Darüberhinaus lassen sich weitere Faktoren, die einen Einfluß auf die Informationszeit ausüben, ohne wesentliche Änderungen in das Modell

aufnehmen, so etwa unterschiedliche Zeiten für die Verarbeitung der empfangenen und weiterzuleitenden Information. Die Fragen der räumlichen Strukturierung von Informationsprozessen treten häufig in den Hintergrund, da zwischen den Kosten der Informationsübertragung und der Entfernung keine eindeutige Beziehung besteht. Eine Ausnahme bilden unter Umständen persönliche mündliche oder telefonische Informationen. Das beschriebene Verfahren eignet sich ferner zur Optimierung der Informationsübertragung ganzer Informationskomplexe, die aus Informationen verschiedener Inhalte bestehen. Allerdings ist dann von der Annahme auszugehen, daß die Zusammensetzung der Informationskomplexe bei allen zulässigen Sendern übereinstimmt, und ein Sender die unterschiedlichen Informationsarten, aus denen der Gesamtkomplex besteht, geschlossen überträgt.

F. Möglichkeiten und Grenzen der Effizienzbeurteilung bei der Organisation der Informationsübertragung

I. Die Beurteilung organisatorischer Gestaltungsmaßnahmen zur Strukturierung von Informationswegen

Wie bei den einzelnen Rechenschritten ausführlich gezeigt wurde, errechnet man entsprechend der Grundkonzeption der dynamischen Programmierung für alle Zustände jeder Stufe jeweils den optimalen Restprozeß. Damit ist eine Sensitivitätsanalyse¹⁾,

1) Vgl. Dreyfus, St.E.: Dynamic Programming, a.a.O., S. 220-221; Dantzig, George R.: Lineare Programmierung und Erweiterungen, a.a.O., S. 305-317; Brusberg, Helmut: Der Entwicklungsstand der Unternehmensforschung mit besonderer Berücksichtigung der Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 1965, S. 102.

d.h. eine Analyse der Wirkungen von Datenänderungen auf die optimale Lösung gegeben. Wenn sich im Verlauf der Informationsübertragung infolge unvorhergesehener Störungen ein Zustand einstellt, der nicht zu dem ursprünglich errechneten Informationsweg zählt, dann kann mit Hilfe der berechneten optimalen Kosten für alle Zustände und der ihnen entsprechenden optimalen Informationswege sofort angegeben werden, welche Organisationseinheiten in der neuen Situation in die Informationsübertragung einzuschalten sind und welche Kosten-erhöhung damit verbunden ist. Sollte beispielsweise die Information von O_6 aufgrund einer technischen Störung nicht bei O_{10} sondern O_{11} angekommen sein, dann verteuert sich die Informationsübertragung um die Differenz aus $(K_{11}^{(3)} - K_{10}^{(3)})$. Von O_{11} aus wird dann die Information über O_{15} und O_{16} an O_{18} übertragen.

In gleicher Weise können die Wirkungen von Datenänderungen infolge bewußter organisatorischer Maßnahmen bestimmt und beurteilt werden. So kann aus der Spalte 14 und den O_1 , O_2 , O_3 und O_4 entsprechenden Zeilen abgeleitet werden, wo der Einsatz eines zusätzlichen Kommunikationsmittels bzw. die Verbesserung eines vorhandenen Weges den größten Erfolg hat. Ferner zeigt die Analyse dieser Werte, daß die Informationsübertragung nur dann bei einem anderen Sender beginnt, wenn mindestens eine Senkung der Übertragungskosten von 2 bei O_3 und 3 bei O_1 bzw. O_4 durch organisatorische Maßnahmen erreicht wird.

Damit wird gleichzeitig die Frage beantwortet, in welchem Ausmaß Datenänderungen auf den einzelnen Direktverbindungen eintreten können, ohne die Streckenfolge des optimalen Weges zu beeinflussen.

Schließlich gibt die Häufigkeit, mit der die einzelnen Informationsstellen in die alternativen Informationswege eingeschaltet werden, an, in welchem Maß die einzelnen Organisationseinheiten mit informatorischen Aufgaben belastet sind. Diese Kenntnisse bieten die Möglichkeit, durch zusätzliche Informationsstellen und/oder Verbindungen diese Stellen zu entlasten und Informationsstörungen vorzubeugen.

II. Die kritische Untersuchung der organisatorischen Aussagen über die Struktur optimaler Informationswege

In der Organisationsliteratur finden sich zahlreiche Forderungen, die an die optimalen Informationswege gestellt und teilweise zu Prinzipien erhoben werden.¹⁾ Ein System allgemein verbindlicher Aussagen über die Strukturierung betrieblicher Informationsprozesse kann jedoch nur aus den Erfordernissen des betrieblichen Entscheidungsprozesses selbst abgeleitet werden. Ein optimaler Informationsprozeß ist gegeben, wenn die betrieblichen Entscheidungsträger zu richtigen Zeiten mit den notwendigen Informationen wirtschaftlich optimal versorgt werden. Alle an die Informationsübertragung gestellten Bedingungen sind also daraufhin zu prüfen, ob sie aus den Erfordernissen des Entscheidungsprozesses oder dem - wie bei allen Aktivitäten geltenden - Wirtschaftlichkeitsprinzip abzuleiten sind.

1) Vgl. z.B. Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 158-164.

In der Literatur zur Organisationslehre ist die Forderung, "den Weg der Information von der Entstehung bis zu den Orten ihrer Verwendung möglichst kurz zu gestalten"¹⁾ in zahlreichen Versionen zu finden. Da der kürzeste Weg dann gegeben ist, wenn "zwei Aufgabenträger miteinander in Verbindung treten ohne daß ein anderer diesen Verkehr vermittelt"²⁾, kommt dieser Sachverhalt auch in der Behauptung zum Ausdruck, daß "Informationen zwischen allen Instanzen direkt möglich sein (sollen)"³⁾. Diese Gleichsetzung von kürzestem und direktem Informationsweg zeigt sich besonders in der folgenden Aussage: "Eine ... Strukturierung des Kommunikationssystems würde, allein ausgehend von den Aufgaben und den zu ihrer Erfüllung notwendigen Informationen, zweifellos die jeweils kürzesten direkten Übermittlungswege zwischen Informationssendern und -empfängern ... herstellen".⁴⁾

Die Identifizierung des kürzesten mit dem direkten Weg ist nur und auch dann lediglich unter Einschränkungen zulässig, wenn von der tatsächlichen räumlichen Ausdehnung der Informationswege abstrahiert wird. In diesem Fall wird die Entfernung oder Länge eines Informationsweges mit der Zahl der in den Informationsprozeß eingeschalteten Stel-

-
- 1) Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 160; ähnlich auch Bleicher, Knut: Grundsätze der Organisation, a.a.O., S. 149.
 - 2) Acker, Heinrich: Die organisatorische Stengliederung im Betrieb, a.a.O., S. 89.
 - 3) Gerwin, Ernst: Organisation und Führung industrieller Unternehmungen, 3. Aufl., Stuttgart 1959, S. 54.
 - 4) Berthel, Jürgen: Informationen und Vorgänge ihrer Bearbeitung in der Unternehmung, Berlin (1967), S. 139.

len bzw. der Zahl der Direktverbindungen gemessen. Daß diese Voraussetzung bewußt gemacht wird, tritt jedoch lediglich bei Acker deutlich hervor. "Im Gegensatz zu dem körperlichen Verkehr hat die Weglänge des geistigen Verkehrs nichts mit der räumlichen Entfernung zu tun Die Weglänge des geistigen Verkehrs ist - nämlich gekennzeichnet durch die Zahl der Aufgabenträger, die diesen Verkehr vermitteln."¹⁾

Abstrahiert man von der räumlichen Ausdehnung eines Informationsweges, dann kann die Forderung nach einer Informationsübertragung auf dem kürzesten Informationsweg weder aus den Erfordernissen des Entscheidungsprozesses noch aus dem Wirtschaftlichkeitsprinzip abgeleitet werden. Wird die Weglänge allein durch die Zahl der in den Informationsprozeß eingeschalteten Aufgabenträger bestimmt, lassen sich keine allgemeingültigen Aussagen über die Abhängigkeit der Informationskosten bzw. der Gesamtübertragungszeit von der Weglänge treffen. Die Behauptung, daß der kürzeste bzw. direkte Weg die minimale Übertragungszeit erfordert²⁾, ist nur dann berechtigt, wenn ein proportionaler Zusammenhang zwischen Weglänge und Übertragungszeit besteht. Darüberhinaus ist zu fordern, daß lediglich die Weglänge einen Einfluß auf die Kosten bzw. Zeit der Informationsübertragung nimmt. Betrachtet man zusätzlich den Einfluß, den beispielsweise die unterschiedliche Fähigkeit der alternativen Informationsstellen zur Aufnahme, Verarbeitung und Weitergabe von Informationen oder die verfügbaren Kommunikationsmittel auf die In-

1) Acker, Heinrich: Die organisatorische Stengliederung im Betrieb, a.a.O., S. 89; ähnlich auch Kosiol, Erich: Organisation der Unternehmung, a.a.O., S. 151.

2) Gutenberg, Erich: Unternehmensführung, Organisation und Entscheidung, a.a.O., S. 139.

formationskosten oder -zeiten ausüben, kann nicht allgemeingültig ein direkter Zusammenhang zwischen der Weglänge und den Informationskosten in der Weise angenommen werden, daß die kürzeste Informationsverbindung auch zu den geringsten Übertragungskosten führt.

So liefert auch das berechnete Modell eine Bestätigung für die Ablehnung der generellen These: "... unter Berücksichtigung ... organisatorischer Erfordernisse ist der Kommunikationsablauf stets so zu strukturieren, daß unter den gegebenen Voraussetzungen der kürzeste Kommunikationsweg gewählt wird."¹⁾ Wie aus dem Beispiel hervorgeht führt nicht der kürzeste (= vierstufige) Informationsweg zu minimalen Übertragungskosten, sondern diese werden erst durch Hinzunahme einer weiteren Direktverbindung und damit Verlängerung des Informationsweges erreicht. Interpretieren wir die Bewertungsfaktoren in dem Beispiel nicht als Übertragungskosten, sondern als notwendige Informationszeiten, so führt das Beispiel auch zu einem der Behauptung, der kürzeste Weg minimiere die Gesamtübertragungszeit²⁾, widersprechenden Ergebnis. Schließlich zeigt dieses Beispiel auch, daß die Organisationsgrundsätze des "kürzesten Dienstweges" und der "kürzesten Durchlaufzeit" nicht miteinander vereinbar sein können.³⁾

1) Kramer, Rolf: Information und Kommunikation, a.a.O., S. 161-162.

2) Vgl. Gutenberg, Erich: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 1. Bd.: Die Produktion, a.a.O., S. 268.

3) Vgl. Bleicher, Knut: Grundsätze der Organisation, a.a.O., S. 149.

Selbst, wenn die tatsächliche räumliche Ausdehnung der Informationswege berücksichtigt wird, bleiben die Bedenken gegen den allgemeingültigen Charakter dieses Grundsatzes bestehen. Zwar läßt sich dann die Forderung nach dem kürzesten Informationsweg, sofern ein Zusammenhang zwischen der Übertragungszeit bzw. den Informationskosten und der räumlichen Ausdehnung angenommen werden kann, aus den Erfordernissen des Entscheidungsprozesses oder dem Wirtschaftlichkeitsprinzip ableiten, jedoch werden lediglich bei der mündlichen oder schriftlichen Nachrichtenübermittlung die räumlichen Entfernungen stärker ins Gewicht fallen.

Aber auch hier kann kein allgemeingültiger Zusammenhang zwischen der Entfernung der Kommunikationspartner und den Informationskosten angenommen werden, da mit steigender räumlicher Trennung der Aufgabenträger nicht zwangsläufig die Informationskosten steigen bzw. die Gesamtdurchlaufzeit verlängert wird.

Insbesondere ergeben sich Zweifel an der Behauptung, der direkte Weg sei der kürzeste, wenn die tatsächliche Entfernung berücksichtigt wird und, wie beispielsweise bei mündlicher Informationsübertragung (face-to-face Kommunikation), von wesentlicher Bedeutung ist. In diesen Fällen hängt die Entfernung zwischen den Kommunikationspartnern von ihren innerbetrieblichen Standorten ab, die wiederum von der Aufgabenverteilung bestimmt werden. Eine allgemeine Aussage über den Zusammenhang von Entfernung und Zahl der in die Informationsübertragung eingeschalteten Stellen kann nicht getroffen werden. Diese Behauptung gilt um so mehr, je weiter man von der isolierten Betrachtung einer einzelnen

Information abgeht und auf die Übertragung gesamter Informationskomplexe sowie auf die in einem bestimmten Zeitraum stattfindenden Informationsprozesse abstellt.

Schlußbemerkungen

Obwohl zu den Problemen der Kommunikation bereits zahlreiche Veröffentlichungen vorliegen, die sich insbesondere auf die informationstheoretischen, nachrichtentechnischen, soziologischen und psychologischen Aspekte beziehen, fehlt noch eine intensive Beschäftigung mit den wirtschaftlichen Fragen der innerbetrieblichen Informationsübertragung sowie der Gestaltung von Informationsprozessen. Neu- erdings wird den Problemen der Kommunikation auch in der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre ein größeres Interesse entgegengebracht. Da sie jedoch vorwiegend im Zusammenhang mit der elektronischen Datenverarbeitung behandelt werden, dominieren die organisatorischen Fragen ohne ökonomischen Problemen ausreichend Beachtung zu schenken.

Die vorliegende Arbeit stellte daher die ökonomische Analyse der organisatorischen Maßnahmen zur Gestaltung betrieblicher Informationsvorgänge, insbesondere der Informationsübertragung, in den Vordergrund. Die Aufgabe bestand in der Untersuchung der wirtschaftlichen Fragen der Informationsversorgung und der Organisation von Informationsvorgängen. Diese Betonung wirtschaftlicher Aspekte erschien vor allem erforderlich, da organisatorische Maßnahmen in allen Betrieben unter ökonomischen Zielsetzungen erfolgen. Somit ergab sich die Aufgabe, eine wirtschaftlich optimale Informationsversorgung unter Beachtung der Anforderungen und Grenzen zu bestimmen, die aus dem engen Zusammenhang zwischen Information und Entscheidungen und einem gegebenen Informationsnetz resultieren.

Wie die Untersuchung zeigte, kann die Beurteilung der Ergiebigkeit unterschiedlicher Alternativen nach Maßgabe der ökonomischen Ziele nicht anhand allgemein gehaltener Empfehlungen, die aus einfachen Verbalmodellen abgeleitet werden, erfolgen. Diese Empfehlungen führen nicht zu exakt definierten Optimallösungen und bilden kein in sich widerspruchsfreies Aussagensystem, da diese Verbalmodelle nicht in der Lage sind, die zahlreichen Einflußfaktoren und ihre komplexen Beziehungen zu erfassen. Daher wurde der Übergang zu mathematischen Modellen und den im Rahmen der Unternehmensforschung entwickelten Optimierungsverfahren vollzogen, die den speziellen Eigenschaften der betrieblichen Kommunikationsproblemen besser Rechnung tragen. In der vorliegenden Arbeit wird insbesondere untersucht, inwieweit mit den Verfahren der mathematischen Programmierung eine Erfassung der interdependenten Einflußgrößen gelingt und die vorgeschlagenen Lösungsverfahren für eine Effizienzbeurteilung unterschiedlicher organisatorischer Strukturierungsmaßnahmen geeignet sind. Dabei kamen die Transportverfahren als Beispiele der linearen Programmierung und die dynamische Programmierung zur Anwendung.

Eine Erweiterung liegt also nicht nur darin, daß an die Stelle allgemein gehaltener und teilweise widersprüchlicher Richtsätze Handlungsregeln traten, die aus exakten Optimierungsverfahren abgeleitet wurden, sondern daß darüber hinaus die wesentlichen Determinanten in den modellanalytischen Ansätzen berücksichtigt wurden. Durch die Beachtung indirekter Informationswege, verschiedener Informationsarten, Informationsmittel und -formen sowie quantitativer und zeitlicher Kapazitätsbeschrän-

kungen wurde auch die Aussagefähigkeit der Modellansätze übertroffen, in denen Strukturparameter und Kennziffern zur Beurteilung organisatorischer Maßnahmen abgeleitet wurden. Diese basieren lediglich auf den vorhandenen Informationswegen, ohne diese mit irgendwelchen Bewertungsfaktoren zu gewichten. Anhand der dargestellten Modelle konnte hingegen ein Weg zur exakten Beurteilung der Organisation von Informationsvorgängen gezeigt werden und diese Verfahren erlauben gleichzeitig eine Bestimmung der Informationskostenfunktionen, wie sie in der Theorie der Unternehmung eingeführt wurden.

Die Untersuchung der Programmierungsverfahren führte zu dem Ergebnis, daß die Transportmethode als spezielles lineares Programmierungsverfahren wegen der strengen Voraussetzungen, die für ihre praktische Anwendung erfüllt sein müssen, für ökonomische Informationsprobleme wenig geeignet ist, da sie nicht den besonderen Eigenschaften betrieblicher Informationsübertragungen gerecht werden kann. Hingegen erwies sich die dynamische Programmierung als ein problemadäquates Lösungsverfahren; vor allem, da durch den beschränkten Variationsbereich der Variablen die Rechenbarkeit der Modelle grundsätzlich gewährleistet ist. Die Leistungsfähigkeit der dynamischen Programmierung zeigte sich insbesondere auch darin, daß es elastisch an die unterschiedlichen Fragestellungen angepaßt werden konnte.

Voraussetzung für die Brauchbarkeit der vorgeschlagenen Optimierungsverfahren ist natürlich, daß die benötigten Daten, die Einflußfaktoren und ihre gegenseitigen Abhängigkeiten, einer Quantifizierung

zugänglich und hinreichend genau zahlenmäßig angegeben werden können. Da bisher - von einigen Ausnahmen abgesehen - empirische Untersuchungen zur Ermittlung der notwendigen Daten fehlen, stellen die entwickelten Modelle Erklärungsmodelle dar, in denen die angenommenen Bewertungsfaktoren lediglich hypothetische Werte sind. Die Bedeutung dieser Modelle liegt aber gerade darin, daß durch die Aufdeckung kausaler Beziehungen und der Wirkungszusammenhänge die Grundlage für Entscheidungsmodelle erarbeitet wird. Diese Meßprobleme wirken sich jedoch erst bei der Verifikation der Erklärungsmodelle aus, wenn die angenommenen mathematischen Funktionen empirisch überprüft werden. Sie mindern jedoch nicht die Aussagefähigkeit der Erklärungsmodelle.

Da die dynamische Programmierung mit Schätzwerten, wie sie beispielsweise in Arbeitszeitstudien oder experimentellen sozial-psychologischen Untersuchungen ermittelt werden können, auskommt, besteht die begründete Annahme, daß mit Hilfe dieser Lösungsverfahren praktische Handlungsregeln zur Organisation der Informationsvorgänge entwickelt werden können; umso mehr, da in vorstehenden Modellen gezeigt wurde, wo diese Untersuchungen zur Bestimmung der erforderlichen Daten anzusetzen haben.

Literaturverzeichnis

- Acker, Heinrich: Die organisatorische Stellengliederung im Betrieb, Wiesbaden (1956).
- Ackoff, Russell L.: Towards a Behavioral Theory of Communication. In: MS, Vol. 4 (1958), S. 218-234.
- Adam, A.: Messen und Regeln in der Betriebswirtschaftslehre, Würzburg 1959.
- Ahrens, J.H. und G.K. Gaschütz: Einige Bemerkungen zum Ernennungsproblem. In: UFO, 8. Jg. (1964), S. 60-74.
- Albach, Horst: Betriebswirtschaftslehre heute - Zusammenwirken von Theorie und Praxis. In: ZfbF, 19. Jg. (1967), S. 445-469.
- derselbe: Entscheidungsprozeß und Informationsfluß in der Unternehmensorganisation. In: Organisation. TFB-Handbuchreihe Bd. 1 (Hersg. Erich Schnauffer und Klaus Agthe), Berlin-Baden-Baden 1961, S. 355-402.
- derselbe: Zur Theorie der Unternehmensorganisation. In: ZfhF, NF, 11. Jg. (1959), S. 238-259.
- Albers, Henry H.: Principles of Organization and Management, 2. Aufl., New York-London-Sydney 1965.
- Arnoff, Leonard R. und Sankar S. Sengupta: Mathematical Programming. In: Progress in Operations Research, Vol. I (Hersg.: Russell L. Ackoff), New York-London-Sydney (1966).
- Avondo-Bodino, Guiseppe: Economic Applications of the Theory of Graphs, London-Glasgow (1962).
- Barnard, Chester: The Functions of Executive, Cambridge (Mass.) 1958.
- Battersby, Albert: Network Analysis for Planning and Scheduling, London-Melbourne-Toronto (1967).
- Beckmann, Martin M.: Lineare Planungsrechnung, Ludwigshafen 1959.
- Bellman, Richard: Adaptive Control Processes, A Guided Tour, Princeton 1961.

- Bellman, Richard: Combinatorial Analysis. In: Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. Vol. 10: Combinatorial Analysis (Hersg.: American Mathematic Society), Rhode Island 1960.
- derselbe: Combinatorial Processes and Dynamic Programming. In: Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. Vol. 10: Combinatorial Analysis (Hersg.: American Mathematic Society), Rhode Island 1960.
- derselbe: Determination of Optimal Trajectories Via Dynamic Programming. In: Optimization Techniques. (Hersg.: G. Leitmann), New York-London 1962.
- derselbe: Dynamic Programming, Princeton 1957.
- derselbe: The Mathematical Theory of Control Processes. In: Modern Mathematics for the Engineer. (Hersg.: E.F. Beckenbach), New York-Toronto-London 1961, S. 243-278.
- derselbe: Notes on the Theory of Dynamic Programming - Transportation Models. In: MS, Vol. 4 (1958), S. 191-195.
- derselbe: On a Routing Problem. In: Quart. Appl. Math., Vol. 16 (1958), S. 87-90.
- derselbe: Some Problems in the Theory of Dynamic Programming. In: Econometrica, Vol. 22 (1954), S. 37-48.
- Bellman, Richard und Stuart E. Dreyfus: Applied Dynamic Programming, Princeton 1962.
- Bellman, Richard und Robert Kalaba: Dynamic Programming and Modern Control Theory, New York-London (1965).
- dieselben: On kth Best Policies. In: J. Soc. Ind. Appl. Math., Vol. 8 (1960), S. 582-588.
- Berge, Claude: The Theory of Graphs and Its Applications, London-New York 1962.
- Berthel, Jürgen: Informationen und Vorgänge ihrer Bearbeitung in der Unternehmung, Berlin (1967).
- derselbe: Zur Organisation der Kommunikation. In: ZfB, 38. Jg. (1968), S. 409-432.
- Bierfelder, Wilhelm H.: Optimales Informationsverhalten im Entscheidungsprozeß der Unternehmung, Berlin (1968).

- Bleicher, Knut: Grundsätze der Organisation. In: Organisation TFB-Handbuchreihe, Bd. 1 (Hersg.: Schnauffer, Erich und Klaus Agthe), Berlin-Baden-Baden 1961, S. 149-164.
- derselbe: Zentralisation und Dezentralisation von Aufgaben in der Organisation der Unternehmung, (Berlin) 1964.
- derselbe: Zur Zentralisation und Dezentralisation der Entscheidungsprozesse in der Unternehmensorganisation. In: Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol (Hersg.: Erwin Grochla), Berlin (1964), S. 125-151.
- Böhrs, Hermann: Organisation des Industriebetriebes, Wiesbaden (1963).
- Bössmann, Eva: Die ökonomische Analyse von Kommunikationsbeziehungen in Organisationen, Berlin-Heidelberg-New York 1967.
- Boldyreff, A.W.: Determination of the Maximal Steady State Flow of Traffic Through a Railroad Network. In: OR, Vol. 3 (1955), S. 443-465.
- Brusberg, Helmut: Der Entwicklungsstand der Unternehmensforschung mit besonderer Berücksichtigung der Bundesrepublik Deutschland, Wiesbaden 1965.
- Burns, Tom: The Direction of Activity and Communication in a Departmental Executive Group. In: Human Relations, Bd. 7 (1954), S. 73-97.
- Busacker, Robert G. und Thomas L. Saaty: Endliche Graphen und Netzwerke. Eine Einführung mit Anwendungen, München-Wien 1968.
- Chappell, R.T. und W.L. Read: A Textbook of Business Communications. London 1963.
- Charnes, A.A. und Henry Miller: Models for the Optimal Programming of Railway Freight Train Movements. In: MS, Vol. 3 (1957), S. 74-82.
- Charnes, A.A. und W.W. Cooper: The Stepping Stone Method of Explaining Linear Programming Calculations in Transportation Problems. In: MS, Vol. 1 (1954), S. 49-69.
- Busse von Colbe, Walther: Entwicklungstendenzen in der Theorie der Unternehmung. In: ZfB, 34. Jg. (1964), S. 615-627.

- Christie, L.S.: Organization and Information Handling in Task Groups. In: OR, Vol. 2 (1954), S.188-196.
- Churchman, C. West: Decision and Value Theory. In: Progress in Operations Research, Bd. 1 (Hersg.: Russell L. Ackoff), London-Sidney-New York 1966.
- Clark, D.F. und R.L. Ackoff: A Report on Some Organizational Experiments. In: OR, Vol. 7 (1959), S. 279-293.
- Clarke, S. Krikorian und J. Rausen: Computing the N Best Loopless Paths in a Network. In: J. Soc. Ind. Appl. Math., Vol. 11 (1963), S. 1096-1102.
- Collatz, Lothar und Wolfgang Wetterling: Optimierungsaufgaben, Berlin-Heidelberg-New York 1966.
- Coenenberg, Adolf G.: Die Kommunikation in der Unternehmung, Wiesbaden (1966).
- Collin, Cherry: On Human Communication. A Review, a Survey and a Criticism, New York-London 1957.
- Cyert, Richard H. und James G. March: A Behavioral Theory of the Firm, Englewood Cliffs, N. J., 1964.
- Dantzig, George B.: Application of the Simplex-Method to a Transportation Problem. In: Activity Analysis of Production and Allocation, (Hersg.: Koopmans, T.C.), Cowles Commission Monograph No. 13, New York 1951, S. 359-373.
- derselbe: Lineare Programmierung und Erweiterungen. Deutsche Übersetzung von "Linear Programming and Extensions", Berlin-Heidelberg-New York 1966.
- Dreyfus, Stuart E.: Dynamic Programming. In: Progress in Operations Research, Vol. 1 (Hersg.: Russell L. Ackoff), London-Sidney-New York (1966), S. 211-242.
- Dubin, Robert: Business Behavior. Behaviorally Viewed. In: Social Science Approaches to Business Behavior (Hersg.: Agris, Chris; Robert Dubin u.a.), Homewood (Ill.) 1962.
- Egert, Ph.: Anwendung des dynamischen Programmierens zum Aufsuchen optimaler Wege in Netzen. In: Ablauf und Planungsforschung. Bd. 4 (1963), S. 158-166.

- Elsner, Kurt: Mehrstufige Produktionstheorie und dynamisches Programmieren, Meisenheim /Glan 1964.
- Falkenhausen, H(asso) von: Die Berechnung der n besten Wege im Netz. In: Ablauf und Planungsforschung, Bd. 8 (1967), Heft 1, S. 227-233.
- derselbe: Optimallösungen für Entscheidungsfolgen. Ermittlung durch analytische Methoden (dynamic programming) und Simulation. In: IBM-Fachbibliothek 78105 (1963), o.O., S. 3-4.
- Fayol, Henri: Allgemeine und industrielle Verwaltung. Deutsche Übersetzung von "Administration Industrielle et Generale", Berlin 1929.
- Feller, William: An Introduction to Probability Theory and Its Applications, Vol. 1, 2. Aufl., New York-London 1967, S. 207.
- Ferguson, Allen R. und George B.Dantzig: The Allocation of Aircraft to Routes - An Example of Linear Programming under Uncertain Demand. In: MS, Vol. 3 (1957), S. 45-73.
- Ferschl, F.: Grundzüge des Dynamic Programming. In: UFO, Bd. 3 (1959), S. 70-80.
- Fischer, Guido: Die Führung von Betrieben, Stuttgart 1961.
- Fischer, Hardi: Gruppenstruktur und Gruppenleitung, Bern-Stuttgart 1962.
- derselbe: Information und Kommunikation. In: Industrielle Organisation, 28. Jg. (1959), S. 161-166.
- Flament, C.: Applications of Graph Theory to Group Structure, Englewood Cliffs, N.J., 1963.
- Ford jr., L.R. und D.R. Fulkerson: Flows in Network, Princeton, N.J., 1962.
- dieselben: Solving the Transportation Problem. In: MS, Vol. 3 (1956), S. 24-32.
- dieselben: A Suggested Computation for Maximal Multi-Commodity Network Flows. In: MS, Vol. 5 (1958/59), S. 97-101.
- dieselben: Maximal Flow through a Network. In: Canadian Journal Math. 8. (1956), S. 399-404.

- Frank, Helmar: Die Grundlagen der kybernetischen Pädagogik. In: IBM-Nachrichten, o.O., 16.Jg. (1966), S. 2-9.
- derselbe: Informationspsychologie. In: Kybernetik, Brücke zwischen den Wissenschaften (Hersg.: Helmar Frank), 6. Aufl., Frankfurt 1966, S. 259-271.
- Frese, Erich: Kontrolle und Unternehmensführung. Entscheidungs- und organisationstheoretische Grundfragen, Wiesbaden (1968).
- Freudenthal, Hans: Wahrscheinlichkeit und Statistik. München 1963.
- Gale, David: The Theory of Linear Economic Models, New York-London-Toronto 1960.
- Garvin, Walter W.: Introduction to Linear Programming, New York-Toronto-London 1960.
- Gass, Saul J.: Linear Programming, New York-Toronto-London 1958.
- Gerwin, Ernst: Organisation und Führung industrieller Unternehmungen, 3. Aufl., Stuttgart 1959.
- Gilchrist, J.C.,
M.E. Shaw und
L.C. Walker: Some Effects of Unequal Distribution of Information in a Wheel Group Structure. In: Journal of Abnormal and Social Psychology, Vol. 49 (1954), S. 554-556.
- Gnedenko, B.W.: Lehrbuch der Wahrscheinlichkeitsrechnung, 2. Aufl., Berlin-Ost 1958.
- Goosens, Franz: Handbuch der Personalleitung, zugleich eine Einführung in die Betriebssoziallehre. 1. Bd.: Personalorganisation und Personalführung, 3. Aufl., München 1959.
- Grössle, Heinz K.: Der Mensch in der industriellen Fertigung, Wiesbaden (1957).
- Guetzkow, Harold: Communications in Organizations. In: Handbook of Organizations (Hersg.: James G. March), Chicago 1965.
- Guetzkow, H. und
A.E. Bowes: The Development of Organizations in a Laboratory. In: MS, Vol. 3 (1956/57), S. 380-402.

- Guetzkow, H. und
Herbert A. Simon: The Impact of Certain Communication Nets
upon Organization and Performance in
Task Oriented Groups. In: MS, Vol. 1
(1954/55), S. 233-250.
- Gutenberg, Erich: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre,
1. Bd.: Die Produktion, 11. Aufl., Ber-
lin-Heidelberg-New York 1966.
- derselbe: Unternehmensführung, Organisation und
Entscheidung, Wiesbaden (1962).
- Hadley, George: Linear Programming, Reading (Mass.)-
Palo Alto-London 1965.
- derselbe: Nonlinear and dynamic Programming.
Reading (Mass.)-Palo Alto-London 1964.
- Hadley, G. und
T.M. Whitin: Analysis of Inventory Systems, Englewood
Cliffs (N.J.) 1963.
- Haire, Mason: Philosophy of Organization. In: Manage-
ment, Organization and Planning (Hersg.:
Donald M. Bowman and Francis M. Fillerup),
New York 1963.
- Harary, Frank: Graph Theoretic Methods in the Manage-
ment Science. In: MS, Vol. 5 (1959),
S. 387-403.
- Hax, Herbert: Die Koordination von Entscheidungen. Ein
Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Or-
ganisationslehre, Köln-Berlin-Bonn-Mün-
chen 1965.
- Hax, Karl: Planung und Organisation als Instrumente
der Unternehmensführung. In: ZfbF, NF,
11. Jg. (1959), S. 605-615.
- Heinen, Edmund: Die Zielfunktion der Unternehmung. In:
Zur Theorie der Unternehmung. Fest-
schrift zum 65. Geburtstag von Erich
Gutenberg (Hersg.: Helmut Koch), Wies-
baden 1962, S. 9-71.
- derselbe: Das Zielsystem der Unternehmung, Wies-
baden (1966).
- Homans, G.: The Human Group, New York 1950.
- Howard, Ronald W.: Dynamic Programming. In: MS, Vol. 12
(1966), S. 317-348.
- derselbe: Dynamische Programmierung und Markov-
Prozesse, Zürich 1965.

- Jacobs, O.L.R.: An Introduction to Dynamic Programming, London 1967.
- Illetschko, Leopold L.: Automation und Betriebswirtschaft, Wien 1957.
- derselbe: Innerbetrieblicher Transport und betriebliche Nachrichtenübermittlung, Stuttgart 1962.
- derselbe: Zentralisation und Dezentralisation. In: Organisation, TFB-Handbuchreihe 1. Bd. (Hersg.: Schnauffer, Erich und Klaus Agthe), Berlin - Baden-Baden 1961, S. 167-196.
- Jandy, G.: Optimale Transport- und Verkehrsplanung, Würzburg 1968.
- Joksch, H.C.: Lineares Programmieren, Tübingen 1962.
- Kalaba, Robert: Graph Theory and Automatic Control. In: Applied Combinatorial Analysis (Hersg.: E.F. Beckenbach), New York 1964, S.239-244.
- derselbe: On Some Communication Network Problems. In: Proceedings of Symposia in Applied Mathematics. Vol. 10: Combinatorial Analysis (Hersg.: American Mathematic Society), Rhode Island 1960.
- Kalaba, Robert und M.L. Juncosa: Optimal Design and Utilization of Communication Networks. In: MS, Vol. 3 (1956 /57), S. 33-44.
- Karlin, Samuel: The Structure of Dynamic Programming. In: Nav. Res. Log. Quart., Vol. 2 (1955), S. 285-294.
- Kaufmann, A.: Graphs, Dynamic Programming and Finite Games, New York 1967.
- Kaufmann, A. und R. Cruon: Dynamic Programming. Sequential Scientific Management, New York-London 1967.
- King, William R.: A Stochastic Personnel Assignment Model. In: OR, Vol. 13 (1965), S. 67-81.
- Kloidt, Heinrich, Hans-Achim Dubberke und Jürgen Göldner: Zur Problematik des Entscheidungsprozesses. In: Organisation des Entscheidungsprozesses (hersg. von Erich Kosiol), Berlin 1959.

- Knödel, W.: Ein verallgemeinertes Transportproblem. In: UFO, Bd. 4 (1960), S. 1-12.
- Koontz, Harold und Cyril O'Donnel: Management. A Book of Readings, New York 1964.
- Koopmans, T.C. und Stanley Reiter: A Model of Transportation. In: Activity Analysis of Production and Allocation, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13, London-New York 1951, S. 222-259.
- Kosiol, Erich: Grundlagen und Methoden der Organisationsforschung, Berlin (1959).
- derselbe: Organisation der Unternehmung, Wiesbaden (1962).
- derselbe: Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum, Hamburg 1966.
- Kramer, Rolf: Information und Kommunikation. Betriebswirtschaftliche Bedeutung und Einordnung in die Organisation der Unternehmung, Berlin (1965).
- Kreko, Bela: Lehrbuch der linearen Optimierung, 2. Aufl., Berlin 1965.
- Landsberger, Henry A.: The Horizontal Dimension in Bureaucracy. In: Administrative Science Quarterly, Bd. 6 (1961), S. 299-332.
- Levitt, Harold J.: Managerial Psychologie, 2. Aufl., London-Chicago 1964.
- Lindseth, Elmer L.: Management Communication. In: The Management Team (Hrsg.: E. Bursk), Cambridge (Mass.) 1954.
- Luce, R.D. und H. Raiffa: Games and Decisions, New York 1957.
- March, James G. und A. Herbert Simon: Organizations, New York 1958.
- Miller, D.W. und K.M. Starr: Executive Decisions and Operations Research, Englewood Cliffs (N.J.) 1960.
- Marschak, Jacob: Efficient and Viable Organizational Forms. In: Modern Organization Theory. A Symposium of the Foundation for Research on Human Behavior (Hrsg.: Mason Haire), New York-London-Sidney (1965), S. 307-320.

- Marschak, Jacob: Elements for a Theory of Teams. In: MS, Vol. 2 (1955), S. 127-137.
- derselbe: Towards an Economic Theory of Organization and Information. In: Decision Processes (Hrsg.: R.M. Thrall, C.R. Coombs und R.L. Davis), New York-London 1954, S. 187-220.
- Marschak, Thomas: Centralization and Dezentralization in Economic Organisation. In: Econometrica, Vol. 27 (1959), S. 399-430.
- Mc Donough, A.M.: Information Economics and Management Systems, New York 1963.
- Mc Guire, C.B.: Some Team Models of a Sales Organization. In: MS, Vol. 7 (1960/61), S. 101-130.
- Merrihue, Willard V.: Managing by Communication, New York-Toronto-London 1960.
- Meyer-Eppler, W.: Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1959.
- Morgenstern, Oskar: Prolegomena to a Theory of Organization, RM-734, The Rand Corp., Santa Monica (Calif.), 1951.
- Müller, Max W.: Zeit, Kosten und Wertfaktoren der Informationserschließung. In: IBM-Nachrichten, o.O., Heft 149 (1961).
- Nemhauser, George L.: Introduction to Dynamic Programming, New York-London-Sydney 1966.
- Neumann, Jürgen von Spieltheorie und wirtschaftliches Verhalten, Wien-München 1963.
- Newmann, William K., Charles E. Summer und Kirby E. Warren: The Process of Management, Englewood Cliffs (N.J.) 1967.
- Nordsieck, Fritz: Rationalisierung der Betriebsorganisation, 2. Aufl., Stuttgart 1955.
- Opfermann, Klaus: Ein Beitrag zur Planung der optimalen Linienführung von Verkehrswegen. In: Z.f. ges. Stw., Bd. 123 (1967), S. 279-295.
- Orden, Alex: The Transshipment-Problem. In: MS, Vol.2 (1956), S. 276-285.

- Papandreou, A.G.: Some Basic Problems in the Theory of the Firm. In: Contemporary Economics, Vol. 2 (Hersg.: B. Haley), Homewood, Ill., 1952.
- Pastoor, Horst: Die Informationswirtschaft industrieller Unternehmungen, Diss. Köln 1965.
- Peters, Raymond W.: Communication within Industry. Principles and Methods of Management - Employee Interchange, New York 1959.
- Pfiffner, J.M. und F.P. Sherwood: Administrative Organization, Englewood Cliffs (N.J.) 1960.
- Pigors, P.: Effective Communication in Industry, New York 1959.
- Pietsch, Jürgen: Die Information in der industriellen Unternehmung, Grundzüge einer Organisations-theorie für elektronische Datenverarbeitung, Köln und Opladen 1964.
- Poensgen, Otto H.: Zentralisation und Dezentralisation im Lichte dreier moderner Entwicklungen. In: ZfB, 37. Jg. (1967), S. 373-394.
- Pollack, Maurice und Walter Wiebenson: Solution of the kth Best Route through a Network - A Review. In: J. Math. Anal. and Appl., Vol. 3 (1961), S. 547-559.
- dieselben: Solutions of the Shortest-Route Problem - A Review. In: OR, Vol. 8 (1960), S. 224-230.
- Radner, Roy: The Application of Linear Programming to Team Decision Problems. In: MS, Vol. 5 (1958/59), S. 143-156.
- Rehbein, Gerhard und Hermann Wagener: Grundlagen der Ökonomik des Transport- und Nachrichtenwesens, 3. Aufl., Berlin 1967.
- Richter, Klaus-Jürgen: Methoden der linearen Optimierung, Leipzig 1967.
- derselbe: Transportökometrie, ökonomisch-mathematische Modelle im Transportwesen, Leipzig (1967).
- derselbe: Transportökonomie, Berlin (1965).
- Roberts, S.M.: Dynamic Programming in Chemical Engineering Process Control, New York-London 1964.

- Ross, Jan C. und Frank Harary: Identification of the Liaison Persons of an Organization Using the Structure Matrix. In: MS, Vol. 1 (1955), S. 251-258.
- Rubenstein, Albert H.: Measuring Communication in Industrial Research. In: Some Theories of Organization (Hersg.: Albert H. Rubenstein und Chaduick J. Haberstroh), Homewood (Ill.), 1960, S. 312.
- Saaty, Thomas L.: The Number of Vertices of a Polyhedron. In: Amer. Math. Monthly, Vol. 62 (1955), S. 326-331.
- Schmalenbach, Eugen: Über Dienststellengliederung in Großbetrieben, Köln-Opladen 1959.
- Schmidt, K.: Zurückführung eines Sortenproblems auf das dreidimensionale Transportproblem. In: UFO, Bd. 10 (1966), S. 32-41.
- Schneeweiß, Hans: Entscheidungskriterien bei Risiko, Berlin-Heidelberg-New York 1967.
- Schweitzer, Marcell: Die Reihenfolge der Bearbeitung als Problem der Prozeßstrukturierung. In: Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 65. Geburtstag. hersg. von Erwin Grochla, Berlin (1964), S. 185-207.
- derselbe: Probleme der Ablauforganisation in Unternehmen, Berlin (1964).
- Scott, William G.: Organization Theory. A Behavioral Analysis for Management. Homewood (Ill.), 1967.
- Sengupta, S(ankar) S. und Russell L. Ackoff: System Theory from an Operations Research Point of View. In: General Systems, Yearbook of the Society for General Systems Research (hersg. von Bertalanffy, L. und A. Rapoport), Bd. 10 (1965).
- Shephard, Ronald W.: Dynamic Programming, Produktionsplanung zum Zwecke der Minimierung der Produktions- und Lagerkosten. In: Ablauf- und Planungsforschung, Bd. 5 (1964), S. 1-25.
- Simon, Herbert A.: Administrative Behavior. A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations, 2. Aufl., New York 1957.

- Simon, Herbert A.: Dynamic Programming under Uncertainty with a Quadratic Criterion Function. In: Econometrica, Vol. 24 (1956), S.74-81.
- Simpson, Richard L.: Vertical and Horizontal Communication in Formal Organizations. In: Administrative Science Quarterly, Vol. 4 (1959), S. 188-196.
- Sommer, Klaus: Die Bedeutung interpersonaler Beziehungen für die Organisation der Unternehmung. Ein Beitrag zur betriebswirtschaftlichen Organisationslehre unter Verwendung der Symbolik der Mengenlehre und der Resultate der Kleingruppenforschung, Berlin (1968).
- Stahlmann, Jürgen: Organisation, Entscheidung und Kommunikation, Diss. Göttingen 1960.
- Starr, Martin Kenneth: Production Management, Systems and Synthesis, Englewood Cliffs (N.J.) 1964.
- Steinbuch, Karl: Automat und Mensch. Über menschliche und maschinelle Intelligenz, Berlin-Heidelberg-Göttingen 1961.
- Stevens, S.S.: Introduction. A Definition of Communication. In: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 22 (1950), S. 689-694.
- Strasser, Helge: Zielbildung und Steuerung der Unternehmung, Wiesbaden (1966).
- Stratoudakis, Pan: Das Kommunikationssystem als organisatorisches Problem. In: ZfB, 32. Jg. (1962), S. 204-216.
- Thayer, Lee O.: Administrative Communication, Homewood (Ill.) 1961.
- Ulrich, Hans: Betriebswirtschaftliche Organisationslehre. Eine Einführung, Bern 1949.
- Vajda, S.: Readings in Linear Programming, London 1958.
- Votaw, D.F. und A. Orden: The Personnel Assignment Problem. In: Symposium on Linear Inequalities and Programming (Hrsg.: A. Orden und L. Goldstein), Washington 1952.

- Wagner, Harvey M. und Thomas M. Whittin: Dynamic Version of the Economic Lot Size Model. In: MS, Vol. 5 (1959), S. 89-96.
- Wagner, Helmut: Die Bestimmungsfaktoren der menschlichen Arbeitsleistung, Wiesbaden (1966).
- Wardenberg, J.: Trennung und Identität von Kompetenz- und Kommunikationssystem im Rahmen der Unternehmensorganisation. In: ZfB, 33. Jg. (1963), S. 122-126.
- Weil, Roman L., jr.: Functional Selection for the Stochastic Assignment Model. In: OR, Vol. 15 (1967), S. 1063-1067.
- Wiener, Norbert: Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine, 2. Aufl., New York 1961.
- Wild, Jürgen: Grundlagen und Probleme der betriebswirtschaftlichen Organisationslehre, Berlin (1966).
- derselbe: Informations- und Kommunikationstheorie als Hilfsmittel zur Organisation der Unternehmung. In: ZfürO, 36. Jg. (1967), S. 298-306.
- derselbe: Neuere Organisationsforschung in betriebswirtschaftlicher Sicht. Internationale Forschungsansätze und -ergebnisse zur formalen Problematik der Aufbauorganisation (Berlin 1967).
- Wittmann, Waldemar: Die Unternehmung und unvollkommene Information. Unternehmerische Voraussicht - Ungewißheit und Planung, Köln und Opladen (1959).
- Zangwill, Willard I.: Minimum Concave Cost Flows in Certain Networks. In: MS, Vol. 14 (1968), S. 429-450.
- Zemanek, Heinz: Elementare Informationstheorie, Wien-München 1959.
- derselbe: Informationstheorie. In: UFO, 1. Bd. (1956), S. 30-36.
- Zschocke, D.: Die Behandlung von Entscheidungsproblemen mit Hilfe des dynamischen Programmierens. In: UFO, Bd. 8 (1964), S. 101-127.

Zeitschriften - Abkürzungsverzeichnis

Amer. Math. Monthly	American Mathematics Monthly
J. Soc. Ind. Appl. Math.	Journal SIAM
MS	Management Science - Journal of the Institute of Management Sciences
Math. An. and Appl.	Journal of Mathematical Analysis and Applications
Nav. Res. Log. Quart.	Naval Research Logistics Quar- terly
OR	Operations Research - The Journal of the Operations Research So- ciety of America
Quart. Appl. Math.	Quarterly Applied Mathematics
UFO	Unternehmensforschung
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirt- schaft
Z.f.ges.Stw.	Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft
ZfhF	Schmalenbachs Zeitschrift für handelswissenschaftliche For- schung (seit 1965: Schmalen- bachs Zeitschrift für betriebs- wirtschaftliche Forschung (ZfbF))
ZfürO	Zeitschrift für Organisation

Lebenslauf

Am 31.8.1941 wurde ich als Sohn des Diplom-Volkswirts Dr. Günther Krug und seiner Ehefrau Lotte Krug, geb. Hülsmann in Rostock / Mecklenburg geboren. Nach dem Besuch der Volksschulen in Wiesbaden und Würzburg und der Aufnahme in das mathematisch-naturwissenschaftliche Leibniz-Gymnasium in Dortmund im Mai 1952 bestand ich im Februar 1960 an dieser Schule die Reifeprüfung. Nach einer sechsmonatigen praktischen Tätigkeit in verschiedenen Abteilungen eines Industriebetriebs begann ich im Oktober 1960 das Studium der Betriebswirtschaftslehre an der Technischen Hochschule in Hannover. Im Mai 1962 setzte ich dieses Studium an der Universität Münster fort. An der Universität Münster habe ich im April 1966 das Studium mit dem Examen als Diplom-Kaufmann abgeschlossen. Vom 1. Juni 1966 bis zum 30.5.1967 war ich an dem Institut für industrielle Unternehmensforschung an der Universität Münster beschäftigt. Seit dem 1.6.1967 bin ich Verwalter einer Assistentenstelle an dem Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre III an der Justus Liebig-Universität Gießen.

difo-druck schmacht · bamberg